

呉工業高等専門学校

研 究 報 告

第 63 号

平成13年 8 月 (2001)

目 次

1. 連立微分方程式の解法について	岡中 正三	1
2. 二次元空間における量子ダイナミックス	植田 義文, 竹口 正浩	7
3. 酸素放電プラズマの数値計算	山崎 勉	13
4. 神戸市の近代洋風建築とその保存方法について	岡本 二郎, 河野 友紀	21
5. 北九州市の近代洋風建築とその保存方法について	岡本 二郎, 永見 敦	35
6. 河川における整備指針と事後評価の整合性に関する研究 市坪 誠, 山口 隆司, 今田 寛典, 谷本 泰雄		45
7. コンクリート構造物の表面劣化が視覚評価に与える影響 市坪 誠, 竹村 和夫, 山口 隆司, 迫井 裕樹		51
8. 指向性音源に対する吸音衝立の減音効果について	藤井 健, 緒方信一郎	57
9. 建築部品におけるユニバーサルデザインの基礎的研究 ープッシュプルハンドルの断面形態についてー	緒方信一郎, 藤井 健	61
10. 建築部品におけるユニバーサルデザインの基礎的研究 ー玄関ドア通過時の平面動作スペースについてー	緒方信一郎, 藤井 健	67
11. 鳥取県西部地震で観測された地震動のスペクトル特性	門前 勝明, 三浦 隆志	71
12. 本校普通教室における温熱環境の実測調査	石井 仁, 松本真奈美, 竹内 大樹, 松尾 涼香	77
平成12年度本校教官による他誌発表論文一覧		85

連立微分方程式の解法について

(一般科目) 岡 中 正 三

On the Solution of Simultaneous Differential Equations

(Department of General Education) Shozo OKANAKA

Abstract

There seems to be three approaches to the solution of a simultaneous differential equations. Since the first approach is well-known, it cannot be touched in this paper. At the second approach, these equations are first rewritten by the vector and the matrix. Then, the unknown functions are derived by the standardization of the matrix. Although the third approach is almost the same as the second one, the difference is that the solution is expressed by using the exponential matrix. In this paper, the theoretical background of the third approach is also clarified and discussed.

Key Words : simultaneous differential equations, vector, matrix, standardization of matrix, exponential matrix
連立微分方程式, ベクトル, 行列, 行列の標準化, 指数行列

§ 1 はじめに

最近の編入学試験問題を見ると、連立微分方程式の場合、次の例題に示すような3つのタイプが見られる。

例題1は、何も指示を与えないで、次の連立微分方程式を解けというタイプである。出題者は、受験生が未知関数の1つを消去して定係数2階同次線形微分方程式の問題に置き換えて解くことを予想しているものと思われる。この解法は最もポピュラーな方法なのでここでは触れないことにする。ここでは、この解法を解法Ⅰということにする。

例題2は、連立微分方程式を行列とベクトルに置き換えて解かせるタイプである。問題の形式が誘導的であり、行列の標準化さえ分かれば決して難しくなく良い問題といえる。この解法は、 n 個の未知関数の場合への一般化も容易な解法であり、発展的な意義もある。ここでは、この解法を解法Ⅱということにする。

例題3は、解ベクトルを表現するために指数行列を使

わせたいというタイプである。問題の形式は誘導的であるが、指数行列の概念やその基本的な性質を学習していない受験生にとっては難しい問題である。ここでは、この解法を解法Ⅲということにする。

本稿では、解法Ⅲの理論的裏付けを明確にしてみたい。とはいっても、例題3を解くための最低限の定義や公式にとどめ、編入学を希望している学生の解法Ⅲに対する動機付けとしたい。解法Ⅲを理解するためには前もって解法Ⅱを理解しているほうが効果的なので、§2では解法Ⅱによる例題2の解答例を示している。さらに、解法Ⅲの理論的裏付けを明確にするために、§3では指数行列の定義とその基本的な性質について述べている。それらの段階を経て§4で解法Ⅲによる解答例を示して

なお、ここに示した3つの例題は過去に出題された編入学試験問題を上で述べた主旨に合うように一部変更したものであることを断っておく。

例題1

次の微分方程式を解け。

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = 4x_1 - 5x_2 \\ \frac{dx_2}{dt} = 2x_1 - 3x_2 \end{cases} \quad x_1(0) = 8, \quad x_2(0) = 5$$

例題 2

次の連立微分方程式

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = 4x_1 - 5x_2 \\ \frac{dx_2}{dt} = 2x_1 - 3x_2 \end{cases} \quad (a)$$

について、以下の問いに答えよ。ただし、 x_1, x_2 は

t の関数 $x_1(t), x_2(t)$ である。

(1) 上式 (a) の右辺を、行列を用いて

$$\begin{bmatrix} 4x_1 - 5x_2 \\ 2x_1 - 3x_2 \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$$

と表すとき、行列 A を求めよ。

(2) 上で求めた行列 A の固有値と固有ベクトルを

求め、 $P^{-1}AP$ が対角行列になるような正則行列

P を求めよ。

(3) 連立微分方程式 (a) を、行列を用いて表すと、

$$\begin{bmatrix} \frac{dx_1}{dt} \\ \frac{dx_2}{dt} \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \quad (b)$$

となる。この時 $\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = P \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix}$ を式 (b) に用い

ると、次式が得られることを示せ。

$$\begin{bmatrix} \frac{dy_1}{dt} \\ \frac{dy_2}{dt} \end{bmatrix} = P^{-1}AP \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix}$$

(4) y_1, y_2 に関する微分方程式を導き、さらに

y_1, y_2 を求めよ。

(5) 連立微分方程式 (a) の解 x_1, x_2 を初期条件

$x_1(0) = 8, x_2(0) = 5$ のもとで求めよ。

例題 3

\mathbf{x} を 2 次元の列ベクトル、 A を 2 次の正方行列とする次のような連立微分方程式

$$\frac{d\mathbf{x}}{dt} = A\mathbf{x}$$

について考える。

(1) \mathbf{x}_0 を $t = 0$ における初期値を表す 2 次元の列ベクトルとすると、この連立微分方程式の解は

$$\mathbf{x} = e^{tA} \mathbf{x}_0$$

となることを示せ。ただし、

$$e^{tA} = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(tA)^k}{k!}, \quad 0! = 1, \quad A^0 = E \quad (\text{単位行列})$$

(2) A の固有値 λ_1, λ_2 に対する 2 個の 1 次独立な

固有ベクトル $\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2$ をそれぞれ第 1 列、第 2 列に

もつ正則行列 $P = [\mathbf{p}_1 \ \mathbf{p}_2]$ を考えるとき、次のような関係式が成り立つ。

$$P^{-1}AP = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 \\ 0 & \lambda_2 \end{bmatrix} = J,$$

$$e^{tA} = Pe^{tJ}P^{-1}, \quad e^{tJ} = \begin{bmatrix} e^{\lambda_1 t} & 0 \\ 0 & e^{\lambda_2 t} \end{bmatrix}$$

これを利用して

$$A = \begin{bmatrix} 4 & -5 \\ 2 & -3 \end{bmatrix}$$

とすると、 e^{tA} を求めよ。

(3) $\mathbf{x}_0 = \begin{bmatrix} 8 \\ 5 \end{bmatrix}$ として \mathbf{x} を求めよ。

§ 2 解法Ⅱについて

ここでは、解法Ⅲについて述べるための準備として、例題2の解答例を示す。

(1)

$$A = \begin{bmatrix} 4 & -5 \\ 2 & -3 \end{bmatrix}$$

である。

(2) 行列 A の固有方程式は、

$$|\lambda E - A| = \begin{vmatrix} \lambda - 4 & 5 \\ -2 & \lambda + 3 \end{vmatrix} = (\lambda - 2)(\lambda + 1) = 0$$

より、固有値は -1 、 2 である。

固有値 -1 に対する固有ベクトル $\mathbf{p}_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$ 、

固有値 2 に対する固有ベクトル $\mathbf{p}_2 = \begin{bmatrix} 5 \\ 2 \end{bmatrix}$ より、

$$P = [\mathbf{p}_1 \ \mathbf{p}_2] = \begin{bmatrix} 1 & 5 \\ 1 & 2 \end{bmatrix} \text{ とおくと、}$$

$$P^{-1}AP = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 2 \end{bmatrix} \text{ ①}$$

となる。

$$(3) \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = P \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} \text{ より、} \begin{bmatrix} \frac{dx_1}{dt} \\ \frac{dx_2}{dt} \end{bmatrix} = P \begin{bmatrix} \frac{dy_1}{dt} \\ \frac{dy_2}{dt} \end{bmatrix} \text{ と}$$

なる。これらを (b) へ代入すると、次の式が得られる。

$$P \begin{bmatrix} \frac{dy_1}{dt} \\ \frac{dy_2}{dt} \end{bmatrix} = AP \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix}$$

$$\therefore \begin{bmatrix} \frac{dy_1}{dt} \\ \frac{dy_2}{dt} \end{bmatrix} = P^{-1}AP \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} \text{ ②}$$

(4) ①を②へ代入すると、次の式が得られる。

$$\begin{bmatrix} \frac{dy_1}{dt} \\ \frac{dy_2}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix}$$

これを成分で書くと、次のようになる。

$$\frac{dy_1}{dt} = -y_1, \quad \frac{dy_2}{dt} = 2y_2$$

$$\therefore y_1 = c_1 e^{-t}, \quad y_2 = c_2 e^{2t} \text{ ③}$$

$$(5) \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = P \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} \text{ および③より、}$$

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 5 \\ 1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_1 e^{-t} \\ c_2 e^{2t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_1 e^{-t} + 5c_2 e^{2t} \\ c_1 e^{-t} + 2c_2 e^{2t} \end{bmatrix} \text{ ④}$$

ここで、初期条件を使うと、

$$\begin{bmatrix} 8 \\ 5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 5 \\ 1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \end{bmatrix}$$

$$\therefore \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 5 \\ 1 & 2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 8 \\ 5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3 \\ 1 \end{bmatrix} \text{ ⑤}$$

⑤を④へ代入すると、連立微分方程式の解は、

$$\begin{cases} x_1 = 3e^{-t} + 5e^{2t} \\ x_2 = 3e^{-t} + 2e^{2t} \end{cases}$$

となる。

§ 3 指数行列の定義とその基本的性質

ここでは、§ 4で解法Ⅲについて述べるための準備として、指数行列の定義とその基本的な性質について述べる。

3. 1 指数行列の定義

$\frac{dx}{dt} = ax$ の解が、 $x = ce^{at}$ であったので、

$\frac{d\mathbf{x}}{dt} = A\mathbf{x}$ の解も、 $\mathbf{x} = e^{tA}\mathbf{c}$ とできるのではないか

という発想から、指数行列が導入された。

そこで、

$$e^x = 1 + \frac{1}{1!}x + \frac{1}{2!}x^2 + \frac{1}{3!}x^3 + \cdots$$

に対して、

$$e^A = E + \frac{1}{1!}A + \frac{1}{2!}A^2 + \frac{1}{3!}A^3 + \cdots$$

指数行列

と定義し、 e^A を指数行列と呼ぶ。

例えば、 $A = \begin{bmatrix} \alpha & \\ & \beta \end{bmatrix}$ のとき、定義通りに e^A を求めてみると

$$\begin{aligned} e^A &= \begin{bmatrix} 1 & \\ & 1 \end{bmatrix} + \frac{1}{1!} \begin{bmatrix} \alpha & \\ & \beta \end{bmatrix} + \frac{1}{2!} \begin{bmatrix} \alpha & \\ & \beta \end{bmatrix}^2 + \frac{1}{3!} \begin{bmatrix} \alpha & \\ & \beta \end{bmatrix}^3 + \cdots \\ &= \begin{bmatrix} 1 & \\ & 1 \end{bmatrix} + \frac{1}{1!} \begin{bmatrix} \alpha & \\ & \beta \end{bmatrix} + \frac{1}{2!} \begin{bmatrix} \alpha^2 & \\ & \beta^2 \end{bmatrix} + \frac{1}{3!} \begin{bmatrix} \alpha^3 & \\ & \beta^3 \end{bmatrix} + \cdots \\ &= \begin{bmatrix} 1 + \frac{\alpha}{1!} + \frac{\alpha^2}{2!} + \frac{\alpha^3}{3!} + \cdots & \\ & 1 + \frac{\beta}{1!} + \frac{\beta^2}{2!} + \frac{\beta^3}{3!} + \cdots \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} e^\alpha & \\ & e^\beta \end{bmatrix} \end{aligned}$$

公式 1

$$A = \begin{bmatrix} \alpha & \\ & \beta \end{bmatrix} \text{ のとき、}$$

$$e^A = \begin{bmatrix} e^\alpha & \\ & e^\beta \end{bmatrix}$$

となる。実は、どんな行列 A に対しても指数行列 e^A が定義されることが証明されている。¹⁾

3. 2 指数行列の基本的性質

1)

$$\begin{aligned} e^A e^B &= \left(\sum_{i=0}^{\infty} \frac{A^i}{i!} \right) \left(\sum_{j=0}^{\infty} \frac{B^j}{j!} \right) \\ &= \left(E + \frac{A}{1!} + \frac{A^2}{2!} + \cdots + \frac{A^n}{n!} + \cdots \right) \left(E + \frac{B}{1!} + \frac{B^2}{2!} + \cdots + \frac{B^n}{n!} + \cdots \right) \\ &= \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{k!} \left\{ A^k + \frac{k!}{(k-1)!} A^{k-1} B + \frac{k!}{(k-2)!} A^{k-2} B^2 + \cdots + B^k \right\} \\ &= \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{k!} (A+B)^k = e^{A+B} \quad (\because AB=BA) \end{aligned}$$

公式 2

$AB=BA$ ならば、

$$e^{A+B} = e^A e^B$$

2)

$$\begin{aligned}\frac{d}{dt}e^{tA} &= \lim_{h \rightarrow 0} \frac{e^{(t+h)A} - e^{tA}}{h} \\ &= \left(\lim_{h \rightarrow 0} \frac{e^{hA} - E}{h} \right) e^{tA} \\ &= \left[\lim_{h \rightarrow 0} \frac{1}{h} \left\{ E + hA + \frac{(hA)^2}{2!} + \frac{(hA)^3}{3!} + \dots - E \right\} \right] e^{tA} \\ &= \left\{ \lim_{h \rightarrow 0} \left(A + \frac{h}{2!} A^2 + \frac{h^2}{3!} A^3 + \dots \right) \right\} e^{tA} \\ &= Ae^{tA}\end{aligned}$$

公式 3

$$\frac{d\mathbf{x}}{dt} = A\mathbf{x} \text{ の一般解は、}$$

$$\mathbf{x} = e^{tA}\mathbf{c}$$

よって、 $\frac{d}{dt}(e^{tA}\mathbf{c}) = A(e^{tA}\mathbf{c})$

3)

$(PBP^{-1})^k = PB^kP^{-1} \ (k=0,1,2,\dots)$ だから、

$$\begin{aligned}e^{PBP^{-1}} &= \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{k!} (PBP^{-1})^k = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{k!} PB^kP^{-1} \\ &= P \left(\sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{k!} B^k \right) P^{-1} = Pe^BP^{-1}\end{aligned}$$

公式 4

$$e^{PBP^{-1}} = Pe^BP^{-1}$$

$\therefore e^{PBP^{-1}} = Pe^BP^{-1}$

§ 4 指解法Ⅲについて

ここでは、例題 3 の解答例を示す。

(1) 公式 3 より、

$$\frac{d\mathbf{x}}{dt} = A\mathbf{x} \text{ の一般解が } \mathbf{x} = e^{tA}\mathbf{c} \text{ だから、}$$

初期条件を満たす解は、

$$\mathbf{x} = e^{tA}\mathbf{x}_0 \quad \text{①}$$

である。

(2) 行列 A の固有方程式は、

$$|\lambda E - A| = \begin{vmatrix} \lambda - 4 & 5 \\ -2 & \lambda + 3 \end{vmatrix} = (\lambda - 2)(\lambda + 1) = 0$$

より、固有値は $-1, 2$ である。

固有値 -1 に対する固有ベクトル $\mathbf{p}_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$,

固有値 2 に対する固有ベクトル $\mathbf{p}_2 = \begin{bmatrix} 5 \\ 2 \end{bmatrix}$ より、

$$P = [\mathbf{p}_1 \ \mathbf{p}_2] = \begin{bmatrix} 1 & 5 \\ 1 & 2 \end{bmatrix} \text{ とおくと、}$$

$$P^{-1}AP = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 2 \end{bmatrix} = J \text{ とおくと、} A = PJP^{-1} \text{ とな}$$

る。また、公式 1 より次の式が成り立つ。

$$e^{tJ} = \begin{bmatrix} e^{-t} & 0 \\ 0 & e^{2t} \end{bmatrix}$$

よって、 e^{tA} は公式 4 より、次のようになる。

$$\begin{aligned} e^{tA} &= e^{P^{-1}AP} = P e^{tJ} P^{-1} \\ &= \begin{bmatrix} 1 & 5 \\ 1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e^{-t} & 0 \\ 0 & e^{2t} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 5 \\ 1 & 2 \end{bmatrix}^{-1} \cdots \cdots \cdots \textcircled{2} \\ &= -\frac{1}{3} \begin{bmatrix} 2e^{-t} - 5e^{2t} & -5e^{-t} + 5e^{2t} \\ 2e^{-t} - 2e^{2t} & -5e^{-t} + 2e^{2t} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

$$(3) \mathbf{x}_0 = \begin{bmatrix} 8 \\ 5 \end{bmatrix} \text{ および } \textcircled{2} \text{ を } \textcircled{1} \text{ へ代入すると、}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{x} &= e^{tA} \mathbf{x}_0 = \begin{bmatrix} 1 & 5 \\ 1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e^{-t} & 0 \\ 0 & e^{2t} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 5 \\ 1 & 2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 8 \\ 5 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} 3e^{-t} + 5e^{2t} \\ 3e^{-t} + 2e^{2t} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

すなわち、

$$\begin{cases} x_1 = 3e^{-t} + 5e^{2t} \\ x_2 = 3e^{-t} + 2e^{2t} \end{cases}$$

となる。

§ 5 終わりに

本稿では、連立微分方程式の 3 つの解法について過去の編入学試験問題を題材にして考察した。

解法 I は、本校では 3 年生で教えている。

解法 II は、行列の標準化さえ分かっていたら比較的容易に理解できる解法であったが、現在使用している教科書では取り上げられていない。しかしながら、この時点で、学生はベクトルも行列の標準化も学習しているので、十分理解できると思われるので、これからは別解として指導してみたい。また、このことによって、行列の標準化がいかに有効であるかも学生に伝えることができると思われる。

解法 III は、指数行列を使うことによって解ベクトルがすっきりと表現されている。しかしながら、その理論的裏付けを理解するのは容易ではない。今回

は、編入学を希望している学生にも理解できるようにという主旨で、例題 3 を解くための最低限の定義や公式にとどめ、固有値が異なる場合のみ対象にした。機会があれば、固有値が重なる場合や、未知関数が 3 個以上の場合などにも言及してみたい。

参考文献

- 1) 横田一郎著, 群と位相, 掌華房, 1971.
- 2) 小寺平治, なっとくする微分方程式, 講談社, 2000.
- 3) 横田一郎, 佐倉直男, 味木博 共著, ベクトルと行列, 竹内書店, 1972.
- 4) 小寺平治, 線形代数基本演習問題集, 現代数学社, 1980.

二次元空間における量子ダイナミックス

(電気工学科) 植田 義文
竹口 正浩

Quantum Dynamics in Two-Dimensional Space

(Department of Electronic Engineering) Yoshifumi UEDA,
Masahiro TAKEGUCHI

Abstract

New advanced nanotechnology is expected to bring the new world associated with such as an innovative IT revolution. Quantum devices, which utilize the quantum effect, will be developed with such nanotechnology. An electron behaves like a wave in a nanometer scale. It is worthwhile to know how an electron behaves in order to develop quantum devices. A computer simulation program, which can visualize the time dependence of an electron wave function in the nanometer scale and low dimension, has been developed on a PC with the C++ language, and confirmed its validity through simulations of the Young's electron diffraction patterns with a single-slit and a double-slit configuration, respectively. The program will be able to serve the prediction of a time evolution of an electron wave function in quantum devices through utilizing the respective potentials.

Key Words : quantum effects, electron waves, nanotechnology, Schrödinger's equation

量子効果, 電子波, ナノテクノロジー, シュレーディンガー方程式

§ 1 はじめに

近年、微細加工技術の発達により、原子レベルのサイズ (ナノスケール) で半導体素子を開発することが可能になってきた。ところが、素子の大きさを数十 nm まで小さくすると、素子の中に含まれる電子の数が極端に少なくなり、個々の電子の動きが支配的になってくる。このとき、電子は粒子としてだけでなく波としても振舞う、電子の量子性が顕著に現れてくる。これを利用した素子を一般に量子効果デバイスと呼ぶが、粒子と波という相容れない2つの性質が共存する世界を理解するのは、決して容易ではない。このような複雑な系に対する研究には通常コンピュータシミュレーション²⁾が用いられるが、実際の素子開発にまで応用できるようなソフトウェアを入手するのは困難である。そこで、本研究ではデバイスの開発にも利用できる汎用性の高いソフトウェアを目指し、二次元の世界における電子の量子効果を視覚化するシミュレーションプログラムを開発した。

§ 2 理論

電子が量子性をもつことは、(1)式に示すド・ブロイの関係式によって示される。この関係は、粒子と波とを結びつける物質波と呼ばれる概念の最も基本となる式であり、電子のような質量の小さい粒子を取り扱う場合、避けて通れない問題である。

$$\lambda = \frac{h}{mv} \quad (1)$$

このような波動性をもつ粒子の運動は、従来のニュートン力学では説明ができない。そこで新たに誕生したのが量子力学であり、その基本式となるのが粒子の従う波動方程式、シュレーディンガー方程式⁴⁾である。ここでは特に時間に依存するシュレーディンガー方程式と呼ばれるものを(2)式に示す。

$$\left\{ -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 + V(\mathbf{r}) \right\} \Psi(\mathbf{r}, t) = i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi(\mathbf{r}, t) \quad (2)$$

本研究では、(2)式をコンピュータにより数値的に解くことによって、電子の挙動を明らかにする。ただし(2)式は一般的に三次元で表記してあるが、今回は二次元空間における量子ダイナミクスを取り扱うので Z 成分に関する項は含まれない。また、この方程式の解 Ψ は波動関数と呼ばれ、粒子の存在確率を示す確率波であると考えられている。ただし Ψ は一般に複素数となるので、(3)式のように共役複素数を掛けて物理的意味を与えている。

$$\Psi \cdot \Psi^* = |\Psi|^2 \quad (3)$$

また、この方程式の解を決定付けるのは、空間に分布するポテンシャルエネルギー $V(x)$ である。したがってこの分布を変えることにより、任意のデバイスを設計することが可能となる。

以上のことから、本研究で開発するプログラムは、ポテンシャルエネルギーの分布 $V(x)$ を入力、シュレーディンガー方程式の数値計算を処理、波動関数の視覚化を出力とするシステムである。

§ 3 シミュレーションプログラムの開発

3.1 入力部

本研究は実用的なデバイス開発をも見据えているので、システムには高い汎用性が要求される。そこで、本プログラムではポテンシャル分布を外部データファイルとして取り込むことによって、任意のシミュレーションをプログラムの変更なしに実現することに成功した。この外部データファイルの作成には、ソフトウェア自身が提供するツールの他にも、別途ツールを開発して使用することも可能である。

3.2 処理部

シュレーディンガー方程式は位置に関して二階の、時間に関して一階の偏微分方程式であるから、これをそのまま数値計算するのは不可能である。そこで、位置に関する微分を(4)式に示す差分法を用いて近似する。また、電子質量のような物理定数は取り扱いが困難なため、ディラックの \hbar と電子質量を1とする原子単位系⁶⁾を用いる。これにより、(2)式は(5)式のような時間に関する一階の微分方程式に変形できる。

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} \Psi_i \approx \frac{\Delta^2}{\Delta x^2} \Psi_i = \frac{\Psi_{i+1} - 2\Psi_i + \Psi_{i-1}}{\Delta x^2} \quad (4)$$

$$\frac{d\Psi_{x,y}}{dt} = \frac{1}{2}i \left(\frac{\Delta^2}{\Delta x^2} + \frac{\Delta^2}{\Delta y^2} \right) \Psi_{x,y} - iV(x,y)\Psi_{x,y} \quad (5)$$

これを(6)式に示す4次のルンゲ・クッタ法⁶⁾により解くことで、シュレーディンガー方程式の解が得られる。したがって、(6)式を繰り返し適用すれば、波動関数 Ψ の時間的发展を調べることができる。

$$\begin{aligned} \frac{dy}{dt} &= f(t, y) \\ \begin{cases} a_1 = \Delta t \cdot f(t, y) \\ a_2 = \Delta t \cdot f\left(t + \frac{\Delta t}{2}, y + \frac{a_1}{2}\right) \\ a_3 = \Delta t \cdot f\left(t + \frac{\Delta t}{2}, y + \frac{a_2}{2}\right) \\ a_4 = \Delta t \cdot f(t + \Delta t, y + a_3) \end{cases} \\ y(t + \Delta t) &= y(t) + \frac{1}{6}(a_1 + 2a_2 + 2a_3 + a_4) \end{aligned} \quad (6)$$

3.3 出力部

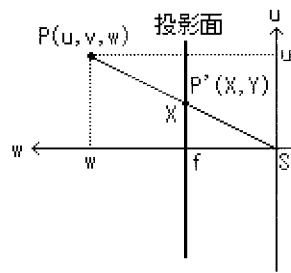
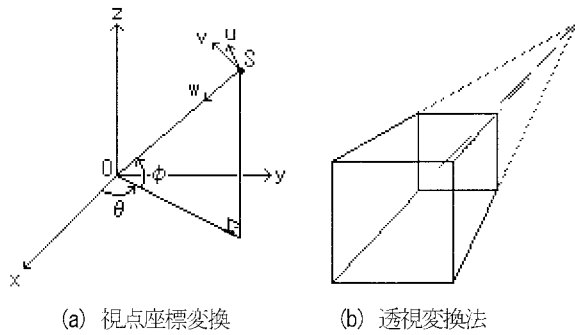
以上により求められた波動関数を時々刻々出力することで、電子の動きを観測することができる。本プログラムではこれを三次元描画処理⁷⁾によって視覚化している。すなわち Z 軸に関数値をプロットすることによって、二次元平面上の電子の状態を観測するのである。三次元描画処理は三次元空間上の点 (x, y, z) を二次元平面上の点 (X, Y) に変換することによって実現できる。ここでは三次元空間上に視点 $S(x_s, y_s, z_s)$ を設け、原点方向に視線を向ける、図1(a)のようなモデルを考えた。ここで w 軸は視点から原点に向かう視線方向であり、それに直交し xy 平面に平行な軸を u 軸、 w, u 軸に直交する軸を v 軸とした。また θ は水平偏角、 ϕ は垂直偏角である。ここで(7)式のような座標変換を行うと、 xyz 空間上の点は視点を中心とする uvw 座標系に変換される。ただし計算の便宜上、 (x, y, z) の視点 S を原点とする座標系への平行変換を (x', y', z') 、 w 軸の xy 平面に平行な成分を w' とした。さらに今回は、奥行きのある表現にするために図1(b)のような透視変換法を用いた。これは図1(c)のように、視点から視線方向 w に距離 f 離れた位置に投影面を設け、三角比によって uvw 座標系にある点 $P(u, v, w)$ を投影面上の点 $P'(X, Y)$ に変換する。この変換を(8)式に示す。以上のような操作を行うことにより、三次元空間上にある点 (x, y, z) は二次元平面上の点 (X, Y) に変換される。

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x - x_s \\ y - y_s \\ z - z_s \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\begin{bmatrix} w' \\ u \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -x' \\ y' \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} w \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \phi & -\sin \phi \\ \sin \phi & \cos \phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w' \\ z' \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f \cdot \frac{u}{w} \\ f \cdot \frac{v}{w} \end{bmatrix} \quad (8)$$



(c) 二次元透視変換

図1 三次元処理のモデル

3.4 プログラムの実行

以上のプログラム処理の流れ図で表したものを、図2に示す。このプログラムは、このように計算処理と描画処理を繰り返すことで、電子の時間発展を観測する。しかし数値計算と三次元描画処理には時間がかかるので、本プログラムでは計算結果をデータファイルに保存する機能を有している。これにより、あらかじめ計算処理を済ませておき、後で高速表示させることもできる。

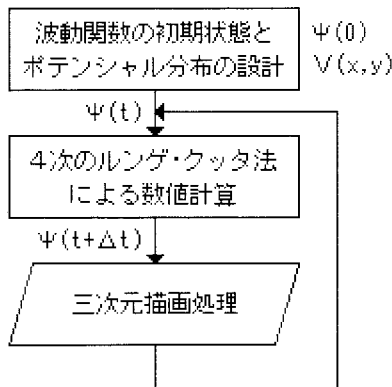
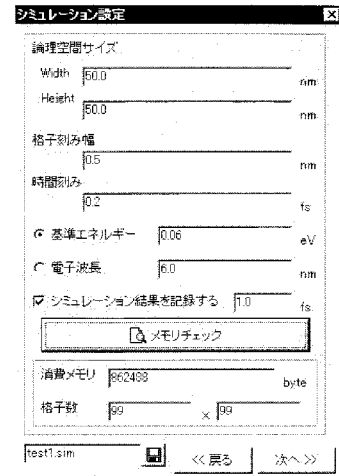


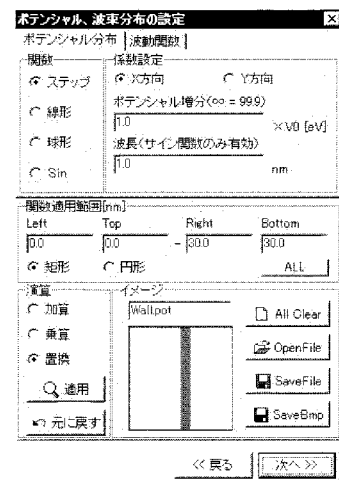
図2 フローチャート

図3(a)はシミュレーションの設定画面で、論理空間の大きさや格子の刻み幅を設定する。図3(b)および(c)はポテンシャルおよび初期波束の設計画面で、データファイルの作成を支援するツールである。ポテンシャル分布には線形関数や三角関数などの計算機能も持っており、これにより様々な形状のポテンシャルを作成することができる。また、波束の形状としてはガウス型関数とcos関数を選べる。なお、これらのデータは外部ファイルとして

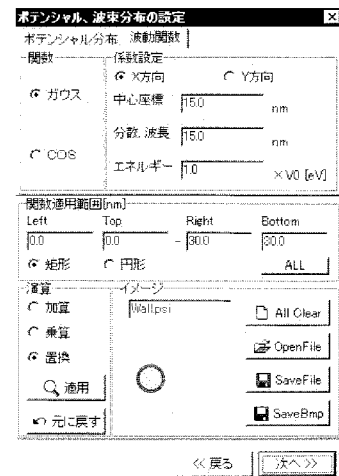
保存/読み出しができるので、独自にツールを開発して使用することもできる。このような自由度を与えているのは、このソフトが量子力学の学習支援にとどまらず、より実用的なデバイスの研究にも利用できるようにする目的のためである。シミュレーション実行画面を図3(d)に示している。



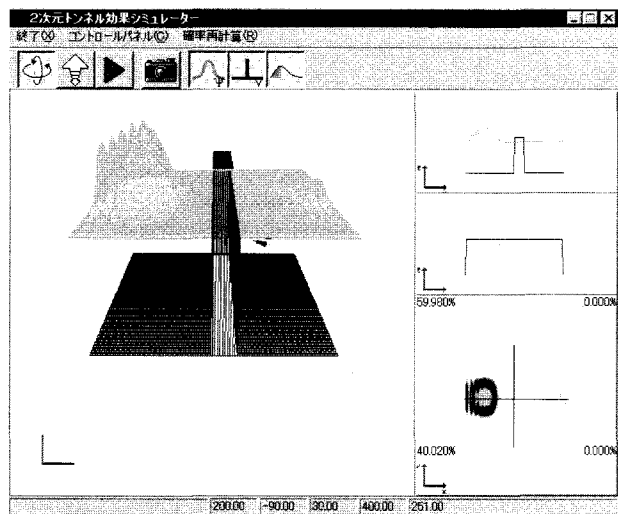
(a) シミュレーション設定画面



(b) ポテンシャル分布設計画面



(c) 初期波束設計画面



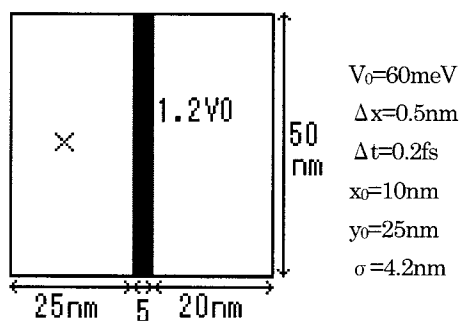
(d) シミュレーション実行画面

図3 プログラムの実行画面

§ 4. シミュレーション実行例

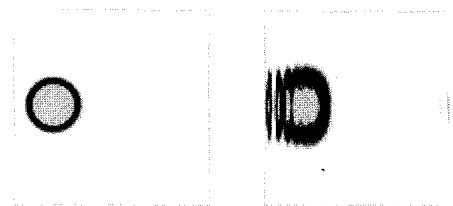
4.1 電子のトンネル効果

電子よりも高いエネルギーをもつ障壁に電子を入射させると、トンネル効果と呼ばれる現象を起こす。このシミュレーションでは図4に示すように、電子のエネルギー60meV (電子波長5nmに相当) に対し、エネルギー障壁を1.2倍の72meVとしている。なお、 $\Psi(0)$ のパラメータ k は、電子エネルギー V_0 から求まる電子の波数である。古典力学では粒子は自身より高いエネルギー障壁は通過することができないが、波動性をもつ電子は壁を透過して透過波と反射波に分かれる。図5は、初期状態および250fs後の波動関数を二次元表示で視覚化したものである。図5(b)の右端にわずかに見える縦縞が透過波であり、画像が波打っているのは、境界面付近で干渉が起きたためである。この場合の電子の透過率は、約10%となった。



$$\Psi(0) = \frac{1}{\sqrt{\pi\sigma^2}} \exp\left[-\frac{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2}{2\sigma^2} + ikx\right]$$

図4 トンネル効果シミュレーションの設計



(a) 初期状態

(b) 250fs 後

図5 電子のトンネル効果の時間発展

次に、障壁の高さを変えた場合の透過率の変化を図6に示す。透過率の計算には、時刻250fsにおいて障壁よりも右側の領域に電子が存在する確率を用いた。障壁のエネルギーは電子のエネルギー60meVを基準とし、障壁対電子を0.0から1.6まで変化させて測定した。なお、エネルギー比0.0とは、障壁の存在しない自由空間である。このときの透過率は100%にはなっていないが、これは時刻250fsで打ち切っていることと、空間境界での完全反射によるものである。この結果からわかるように、障壁が電子のエネルギーよりも低い場合でも反射が起き、透過率が低下していることがわかる。これもまた電子の波動性によるものである。また、障壁と電子のエネルギーが近い領域では透過率が大きく変化しているが、これは不確定性原理により電子のエネルギーに幅があるためではないかと考えられる。

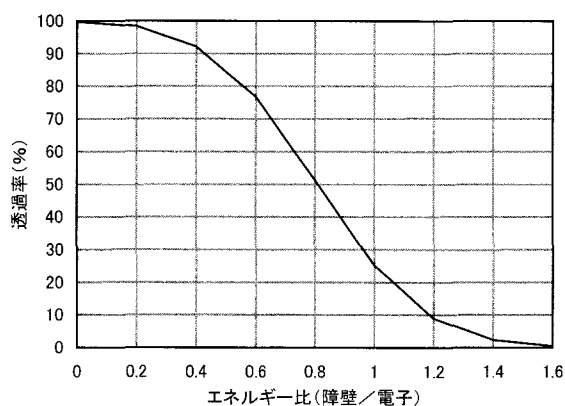


図6 障壁と電子のエネルギー比と透過率の関係

4.2 電子の回折現象

一般に、波動性は干渉現象と回折現象によって説明される。そこで、電子波の回折現象をシミュレーションにより明らかにしてみる。ここでは単スリットと複スリットについて実験した。

4.2.1 単スリットによる回折現象^⑧

図7に示すように、電子の正面に電子波長程度の単スリットを設け、他の条件は図4と同じに設計する。このように一部のシミュレーション条件だけを変更する操作は、本ソフトウェアでは簡単に実現できる。このシミュレーションの時間発展は図8のようになった。図9はこれを三次元表示で表したものであるが、このように非常に美しい回折波形を観測することができた。このシミュレーションでは、反射波に若干の偏りがあるように見えるが、

これは波束とスリットの中心軸にずれがあるためである。

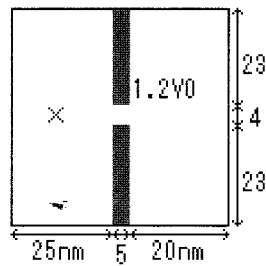


図7 単スリットの設計

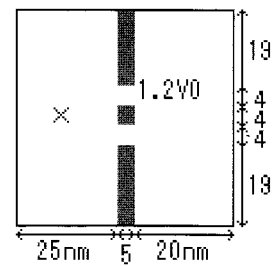


図10 複スリットの設計

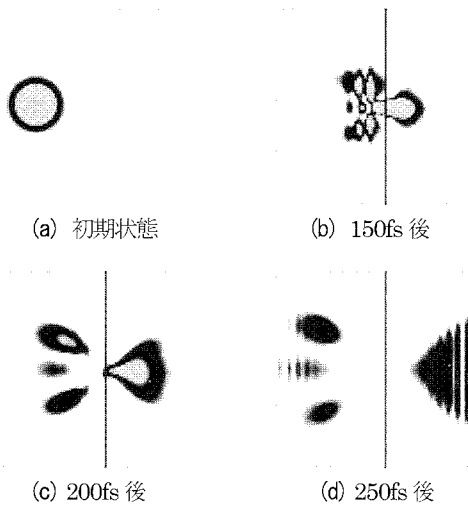


図8 単スリットによる回折現象の時間発展

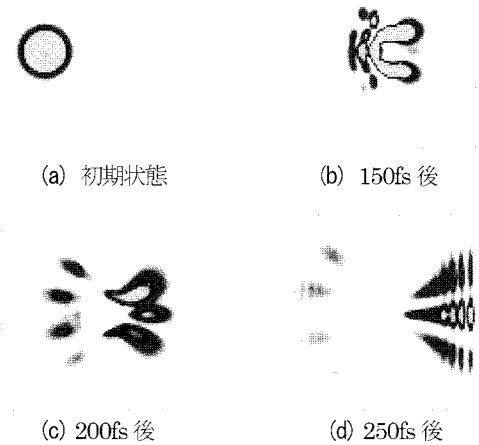


図11 複スリットによる回折現象の時間発展

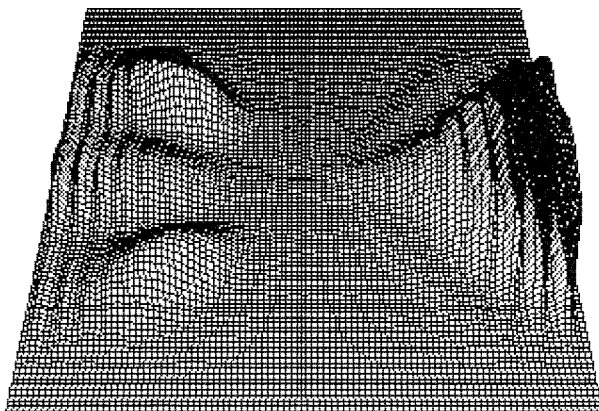


図9 250fs 後における波動関数の三次元表示

4.2.2 複スリットによる回折現象

次に、スリットを1つ増やした複スリットによる回折現象のシミュレーション条件を図10に示す。これも、ポテンシャル分布以外のパラメータは図4と同じである。このシミュレーションの結果を図11に示す。電子は最初図11(b)に示すように障壁を避けてスリットを通過するが、驚いたことに図11(c)ではお通過した2つの波が干渉し合い、その間に新たな波束を生み出している。最終的には図11(d)のように、まるで電子が正面の障壁を透過してきたかのような波形を示した。このような複雑な現象も本シミュレータを用いれば、簡単に知ることができる。

§ 5. まとめ

今回、コンピュータシミュレーションを通して二次元空間における電子の量子効果を可視化するシステムを開発した。このシステムでは、プログラムを書き換えることなく様々な条件のシミュレーションを実行することができる。したがって学生の教育支援のみならず、実用的なデバイス開発にも活かしていくことが可能である。しかし実際のデバイス開発では、点電荷を配置したりゲート電圧を印加したりといった操作が要求され、これらの要素をシミュレーションに組み込むためには、それらをポテンシャルエネルギーとして与えなければならない。

今後の課題としては、点電荷など特定のエネルギー分布を生じさせるものを自動的に計算するようにしたり、ポテンシャルエネルギーを時間的に変化させる機能などが求められる。また複数の電子の取り扱いや、磁界によるベクトルポテンシャル⁹⁾の組み込みなどにも必要である。しかし、システムが複雑化すると数値計算の安定性¹⁰⁾が失われる恐れもあり、これらの問題を十分検討した上で開発を進めていく必要がある。また、誰でも簡単に操作できるようにユーザインターフェースの開発や、機種に依存しないソフトウェアの開発、画像描画処理の高速化も求められる。

なお、この量子ダイナミックスシミュレーションプログラムは近々ホームページ上で公開する予定である。

参考文献

- 1) 高橋清著:「半導体工学 第2版」1章(森北出版, 1975).
- 2) 科学シミュレーション研究会, 田中尚樹著:「パソコンで見る複雑系・カオス・量子」第3章(講談社, 1997).
- 3) <http://www.vector.co.jp/soft/win95/edu/se065496.html>.
- 4) 上羽弘著:「工学系のための量子力学」第2章(森北出版, 1997).
- 5) <http://flex.ee.uec.ac.jp/www/japanese/edu/Zairyou/note/SSF4.files/frame.htm#slide0013.htm>
- 6) <http://www.ritsumei.ac.jp/se/rv/amano/sk3/bibun/RK2.html>.
- 7) 石井繁夫著:「C 言語による3D グラフィックス入門」pp.15-19(技術評論社, 1988).
- 8) 飯高敏晃著:「量子ダイナミクス入門」p98(丸善, 1995).
- 9) Gerhard FASOL, "半導体デバイスの新しいシミュレーション技術[III]—量子効果デバイスのシミュレーション技術:時間依存シュレディンガー方程式を用いた量子輸送シミュレーション—" (電子情報通信学会誌 Vol.82 No.5 pp.512-519, 1999).
- 10) <http://www.pse.che.tohoku.ac.jp/~msuzuki/lecture/Rkg/subsection3.1.7.html>.

酸素放電プラズマの数値計算

(電気工学科) 山崎 勉

Numerical Calculation of an Oxygen Discharge Plasma

(Department of Electrical Engineering) YAMAZAKI Tsutomu

Abstract

An electron energy distribution function in the oxygen plasma were derived from the Boltzmann equation with two-term expansion approximation. And solving a set of rate equations including heavy particles reaction between atoms and/or molecules and electronic transport coefficients, we estimated population densities for 9 levels model of four excited oxygen molecules, four oxygen atoms and ozone as a function of reduced electric field intensity. Calculation of an electron energy distribution function were carried out under the condition of discharge gas as molecular oxygen only, neglecting the existence of atomic oxygen.

Obtained results showed a good agreement with reported observation values approximately. The calculated electron energy distribution function were influenced by the collision cross section of vibrationl excitation peculiar to molecule, and were different from Maxwellian mainly in the low energy area. As for the oxygen atmospheric pressure plasma, the number density of oxygen atoms increases with increasing the reduced electric field intensity, on the other hand those of ozone and oxygen molecules decreases because of electron collisional dissociation of molecules. The calculated characteristics of the oxygen plasma, for example, of the gas temperature dependences and the gas pressure dependences showed good agreements with an experimental reports approximately.

In order to find rigorously the electron energy distribution function and plasma properties in the discharge plasma of the molecule gas that easily dissociated, it's necessary to consider not only the role of the molecule but also that of the atom.

Key Words : electron energy distribution function, rate equation, oxygen discharge plasma

電子エネルギー分布関数、レート方程式、酸素放電プラズマ

§ 1 前書き

酸素プラズマの用途として直ぐに挙がるのはオゾナイザである。オゾナイザはオゾンの発生装置として古くから利用され、多くはその殺菌作用や活発な化学反応を利用する。^{1, 2)}。しかしその効率は数パーセント以下とかなり悪い。その最適化のためには励起機構の解明は不可欠である。S.Kajita³⁾氏はボルツマン方程式の数値解より得た電子エネルギー分布関数を用い各種励起周波数を求め実験値と比較検討している。しかしレート方程式は解いていない。酸素を原料気体として用いる物の他、空気を用いる場合も多い。

環境問題が激しく議論されその処理方法の一つとして各種放電が活発に研究されている。燃焼ガス中の窒素酸化物を酸化し無害化及び除去し、適当な処理の後有効に利用しようと多くの試みがなされている。塚本氏ら⁴⁾は

火力発電所におけるパルスパワーによる実ガス処理を試み、吉岡氏ら⁵⁾は無声放電によるエンジン発電機の排ガス除去システムの設計法を提案し、伊藤氏ら⁶⁾は電界とパルス幅が放電脱硝性能に与える効果を数値計算で評価した。

低気圧酸素プラズマでは、半導体処理過程でエッチング用に酸素活性分子が利用され、その性能改善の研究が進められている。Panda氏ら⁷⁾は酸素プラズマ内の準安定分子の影響について評価するため、マクスウェル分布の電子エネルギー分布関数と反応速度定数により、アフターグロー内部の電子温度変化の時間関数として占有密度を計算している。放電励起機構の解明に寄与している。

気体放電中で酸素分子は電子衝突や電子付着により容易に解離しオゾンや活性酸素原子を生成する。実際、低気圧空気の放電プラズマの発光には酸素分子帯がほとん

と観測されないことから酸素励起分子の占有密度は小さいと考えられる。この報告では、酸素プラズマ中の電子エネルギー分布関数をボルツマン方程式の二項展開より求め、それを用いて得た電子輸送係数と分子間の反応係数より9準位のレート方程式を解き占有密度を求める。次に各プラズマ諸量より酸素プラズマの特性を探り、衝突断面積や反応係数の組合せも検討する。

§ 2 理論 電子エネルギー分布関数

大気圧酸素中の円筒形プラズマの軸方向一様電界による放電励起を考える。電子エネルギー分布関数 $f(u)$ を次のボルツマン方程式より求める。その解法にはRunge-Kutta-Nystrom法を高エネルギー側から低エネルギー側へ向かって適用し、具体的には次の二階微分方程式を数値解析する³⁾。

$$d/du[(uE^2/3NQ)df(u)/du + \delta NQu^2f(u)] = N\sqrt{(u)} \sum [Q_j(u+U_j)\sqrt{(u+U_j)}f(u+U_j) - Q_j(u)\sqrt{(u)}f(u)]$$

ここで、電界強度 $E[V/cm]$ 、気体分子密度 $N=3.54 \times 10^{16} \cdot P=3.54e16 \cdot P[cc]$ 、気圧 $P[Torr]$ 、運動量変換衝突断面積 $Q[cm^2]$ 、電子の気体分子との弾性衝突損失係数 $(2 \times \text{電子質量}/\text{酸素分子質量})$ $\delta=2m/M=3.4286e-5$ 、準位 j の電子衝突励起断面積 $Q_j(u)$ と励起エネルギー U_j $j=A,B,a,b,c,others(W),I$ (電離), 振動励起 $(X,v=1,2,3,4)$, q 素電荷。なお、電子エネルギー分布関数は規格化条件 $\int f(u)\sqrt{(u)}du=1$ を満たす。

電子輸送係数として、電子移動速度 $Vd=bE=(E/3)\sqrt{(2q/m)} \int (u/NQ)(df(u)/du)du$
電子拡散係数

$$De=(1/3)\sqrt{(2q/m)} \int (u/NQ)f(u)du$$

タウンゼントの第1電離係数

$$\alpha=\sqrt{(2q/m)} \int uNQj(u)f(u)du/Vd$$

特性エネルギー (拡散係数 De /移動度 b) を求めた。これらの測定値と比較すると計算で得られた電子エネルギー分布関数や使用した衝突断面積の妥当性が検討できる。計算に用いた電子衝突断面積は次のようである。運動量変換衝突断面積 Q は文献³⁾を参考にして次のような折れ線近似で表した。 $u[eV]$

$$\begin{aligned} Q(u) &= 29.7u + 0.35 & 0 < u < 0.1636 \\ &= 2.5u + 4.8 & 0.1636 < u < 1.111 \\ &= 8.8 - 1.1u & 1.111 < u < 3.428 \\ &= 2.8 + 0.65u & 3.428 < u < 8.571 \\ &= 10.6 - 0.26u & 8.571 < u < 19.969 \\ &= 234/(23.3+u) & 19.969 < u \end{aligned}$$

電子衝突励起として $A^3\Sigma, B^3\Sigma, C^3\Sigma, a^1\Delta_g, b^1\Delta_g, c^1\Delta_g$ の各励起準位への励起衝突、電子衝突電離 $X^2\Pi$ と酸素分子基底準位内の振動励起を考える。衝突断面積は主として次のFabrikantの式を利用する¹⁾。

$$Q_j[U_j, Q_j, U; u] = Q_j \cdot (u - U_j) \cdot \exp[(U - u)/(U - U_j)] / (U - U_j)$$

ただし $u > U_j$ 以外は $Q_j=0$ とする。これはパラメータとして励起エネルギー U_j 、断面積が最大値 Q_j となる時の電子エネルギー U を用い、 $Q_j[U_j, Q_j, U; u] = z[U_j, Q_j, U]$ と形式的に表示できる。具体的な数値は次のように表し、例えば準位 $A^3\Sigma$ への電子衝突励起 (Z で表示) を $ZA = z[U_j, Q_j, U]$ ここで $j=A$ とする。各励起準位への衝突励起の内 C と c は一括し、上述の準位以外の準位を一括して ZW で表した。

$$ZA = z[4.475, 0.24, 10.0]$$

$$ZB = z[6.1747, 1.30, 20.0]$$

$$ZC + Zc = z[4.098, 0.10, 7.5]$$

$$Za = z[0.9817, 0.079, 8.0]$$

$$Zb = z[1.636, 0.03, 8.0]$$

$$ZI = z[12.075, 2.72, 120]$$

$$ZW = z[9.3, 0.16, 25]$$

振動励起は酸素分子基底準位($X^3\Sigma_g$)内での振動準位 $v=0$ から $v=1, 2, 3, 4$ について $u=4$ eV以上の場合を一つの振動量子数 v に対しFabrikantで近似した²⁾。電子エネルギー $u=2$ eV以下のスパイク状の衝突断面積はその大きさに対しエネルギー幅が小さく断面積で見るとかなり小さい。振動励起のエネルギー量子は振動量子数 v に対し $Uv=0.19592 \cdot v[eV]$ である。

$$v=1 \quad z[4.5, 0.247, 9.5]$$

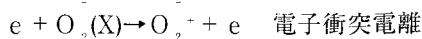
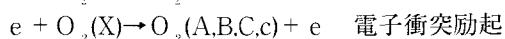
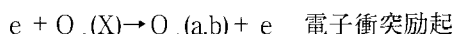
$$v=2 \quad z[5.0, 0.113, 9.5]$$

$$v=3 \quad z[5.5, 0.06, 9.5]$$

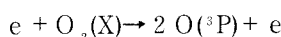
$$v=4 \quad z[6.0, 0.037, 9.5]$$

§ 3 理論 占有密度の計算

励起準位 $A^3\Sigma, B^3\Sigma, C^3\Sigma, a^1\Delta_g, b^1\Delta_g, c^1\Delta_g$ 電離で生じた酸素分子正イオンと電子付着などで生成される酸素分子負イオン、解離で発生した酸素原子は基底準位 4P と準安定 1D また酸素原子イオン (正イオン 4S 及び負イオン 2P)、その他オゾンを考える。ここで考慮した反応過程を以下に示す。気体温度 $Tg [K]$ の反応速度への影響を考慮した⁷⁾。電子が関与する衝突励起は $Z[cm^3/s]$ を頭文字に用い、その衝突断面積より電子エネルギー分布関数で平均して求めた。分子・イオン・原子間の衝突は $R[cm^3/s]$ または cm^6/s で表した。低気圧では二体衝突、高気圧では三体衝突が活発となる。



これらの電子衝突励起は前述の衝突断面積を用い、分子の解離エネルギーより大きい電子エネルギー域では全て分子の解離が進行するとした。



電子衝突解離 $ZAd=ZA(u>5.116)$
 $e + O_2(X) \rightarrow O(^1D) + O(^3P) + e$
 電子衝突解離 $ZBd=ZB(u>7.08)$
 $e + O_2(X) \rightarrow O^+ + O(^3P) + 2e$
 電子衝突解離 $ZId=ZI(u>18.99)$
 $e + O_2(X) \rightarrow O^- + O(^3P)$
 電子付着から解離 $ZAD=z[4.2, 0.014, 6.6]$
 $e + O_2(X) \rightarrow O^- + O^+ + e$
 電子衝突解離 $Z078=0.0106(u-17)/u$
 (衝突断面積 $u>17$)
 負イオンの生成は電子付着による。
 $e + O_2(X) + O_2(X) \rightarrow O_2^- + O_2(X)$ 三体電子付着
 $Z004=3.7e-34 \approx 2.2e-29(300/Tg)^{1.5} \exp(-900/Tg)$
 $e + O_2(a) \rightarrow O_2(X) + e$ 超弾性衝突
 $Z10=0.836/u$ (衝突断面積 $u>2.2$)
 $\rightarrow O^- + O(^3P)$ 解離
 $Z18=z[3.22, 0.021, 5.1]$ (衝突断面積 $u>5.35$)
 $e + O_2(A, C, c) \rightarrow 2O(^3P) + e$ 励起分子の電子衝突解離
 $Z25=1.337/u$ (衝突断面積 $u>4.32$)
 $\rightarrow O^- + O(^3P)$ $Z26=0.0926/u$
 (衝突断面積)
 $e + O_2 + \rightarrow 2O(^3P)$ 解離再結合
 $Z35=0.78/u$ (衝突断面積)
 $\rightarrow O_2(X)$ 再結合
 $Z30=4.0e-12/\sqrt{u}$ (衝突断面積)
 $e + O(^3P) \rightarrow O^+ + 2e$ 基底原子電離
 $Z57=1.344(u-13.62)/u$ (衝突断面積)
 $\rightarrow O(^1D) + e$ 原子励起
 $Z56=0.627(u-1.967)/u$ (衝突断面積 $u>1.967$)
 $e + O(^1D) \rightarrow O(^3P) + e$ 準安定原子逆励起
 $Z65=8.0e-9/\sqrt{u}$ (衝突断面積)
 $\rightarrow O^+ + 2e$ 電離
 $Z67=1.344(u-11.65)/u$ (衝突断面積)
 $e + O^- \rightarrow O(^3P) + 2e$ 負イオン原子の電子放出
 $Z85=29.87(u-5.50)/u$ (衝突断面積)
 $e + O_3 \rightarrow O_2^- + O(^3P)$ オゾンの電子付着解離
 $Z94=1.0e-9/\sqrt{u}$ (衝突断面積)
 $e + O + \rightarrow O(^3P)$ 原子イオン再結合
 $Z70=4.0e-12/\sqrt{u}$ (衝突断面積)
 分子原子間衝突
 $O_2(X) + O^+ \rightarrow O(^3P) + O_2^+$ 電荷交換衝突
 $R07=2.0e-11\sqrt{300/Tg}$
 $O_2(X) + O_2(a) \rightarrow 2O_2(X)$ 脱励起
 $R01=2.2e-18(300/Tg)^{0.8}$ [^は累乗を示す]
 $O_2(X) + O(^1D) \rightarrow O(^3P) + O_2(X)$
 $R06=7.0e-12 \exp(6.7/Tg)$
 $\rightarrow O(^3P) + O_2(a)$
 $R061=1.0e-12$

$O_2(X) + O^- \rightarrow O_3 + e$
 $R08=5.0e-15$
 $O_2(X) + O_3 \rightarrow 2O_2(X) + O(^3P)$
 $R09=7.3e-10 \exp(-11400/Tg)$
 $O_2(X) + O_2^- \rightarrow 2O_2(X) + e$
 $R04=2.7e-10 \exp(-5590/Tg)$
 $O_2(X) + 2O(^3P) \rightarrow 2O_2(X)$
 $R055=2.45e-31(Tg)^{-0.63}$
 $O_2(X) + O(^3P) + O_2(X) \rightarrow O_3 + O_2(X)$
 $R005=4.8e-29/Tg/Tg$
 $O_2(a) + O_2(a) \rightarrow O_2(X) + O(^3P)$
 $R15=1.0e-16$
 $O_2(a) + O^- \rightarrow O_3 + e$
 $R189=3.0e-10$
 $\rightarrow O_2^- + O(^3P)$
 $R18=1.0e-10$
 $O_2(a) + O_3 \rightarrow 2O_2(X) + O(^3P)$
 $R19=5.2e-10 \exp(-2840/Tg)$
 $O_2^+ + O^- \rightarrow O(^3P) + O_2(X)$
 $R38=2.0e-7 \sqrt{300/Tg}$
 $\rightarrow 3O(^3P)$
 $R385=1.0e-7$
 $O_2^+ + O_2^- \rightarrow 2O_2(X)$
 $R34=2.0e-7 \sqrt{300/Tg}$
 $O_2^+ + O_2^- + O_2(X) \rightarrow 3O_2(X)$
 $R340=1.487e-25 (O_4^+ + O_4^- \text{等の再結合過程})$
 $O_2^- + O^+ \rightarrow O_2(X) + O(^3P)$
 $R47=2.4e-7\sqrt{300/Tg}$
 $O_2^- + O(^3P) \rightarrow O_3 + e$
 $R45=1.5e-10$
 $O(^3P) + O(^3P) + O_2(X) \rightarrow 2O_2(X)$
 $R50=1.9e-33/Tg^{0.33}$
 $O(^3P) + O(^3P) + O(^3P) \rightarrow O_2(X) + O(^1S)$
 $R555=1.5e-36$
 $O(^3P) + O^- \rightarrow O_2(X) + e$
 $R58=5.0e-10$
 $O(^3P) + O(^1D) \rightarrow 2O(^3P)$
 $R56=8.0e-12$
 $O(^3P) + O_3 \rightarrow 2O_2(X)$
 $R59=1.8e-11 \exp(-2300/Tg)$
 $O^+ + O^- \rightarrow 2O(^3P)$
 $R78=2.0e-7\sqrt{300/Tg}$
 $O^+ + O_3 \rightarrow O_2^+ + O_2(X)$
 $R79=1.1e-10$

衝突断面積を与えた電子衝突励起係数(Z)は電子エネルギー分布関数より計算する。各種分子間衝突励起係数(R)は文献値を参照した⁸⁾。9つの励起粒子に対するレート方程式より占有密度の計算を行う。対象となる各粒

子に対して占有密度を次のように表す。 $N_0=O_2(X)$, $N_1=O_2(a)$, $N_2=O_2(A,C,c)$, $N_3=O_2^+$, $N_4=O_2^-$, $N_5=O(^3P)$, $N_6=O(^1D)$, $N_7=O^-$, $N_8=O^-$, $N_9=O_3$, $Ne=electron$ 電子。上述の反応係数などより各準位に対応するレート方程式は次のようになる。

励起分子 $O_2(a)$ $dN_1/dt = Z_a \cdot N_0 \cdot Ne - (Z_{10} + Z_{18}) \cdot N_1 \cdot Ne - N_1 \cdot (1/2700 + D_m \cdot \mu + R_{01} \cdot N_0 + R_{15} \cdot N_5 + R_{19} \cdot N_9) + R_{06} \cdot N_0 \cdot N_6$

励起分子 $O_2(A,C,c)$ $dN_2/dt = (Z_A + Z_C + Z_c) \cdot N_0 \cdot Ne - (Z_{25} + Z_{26}) \cdot N_2 \cdot Ne - N_2(1/1000 + D_m \cdot \mu)$

分子正イオン O_2^+ $dN_3/dt = Z_I \cdot N_0 \cdot Ne - N_3 \cdot Ne \cdot (Z_{35} + Z_{30}) - N_3 \cdot (D \cdot \mu + R_{38} \cdot N_8 + R_{34} \cdot N_4 + R_{340} \cdot N_4 \cdot N_0) + R_{07} \cdot N_0 \cdot N_7 + R_{79} \cdot N_7 \cdot N_9$

分子負イオン O_2^- $dN_4/dt = Z_{AD} \cdot N_0 \cdot Ne + Z_{004} \cdot Ne \cdot N_{02} - N_4 \cdot (D_m \cdot \mu + R_{04} \cdot N_0 + R_{34} \cdot N_3 + R_{340} \cdot N_3 \cdot N_0 + R_{47} \cdot N_7 + R_{45} \cdot N_5) + R_{18} \cdot N_1 \cdot N_8$

基底原子 $O(^3P)$ $dN_5/dt = (2Z_{Ad} + Z_{AD} + Z_{Bd} + Z_{Id}) \cdot N_0 \cdot Ne + (Z_{18} \cdot N_1 + 2Z_{25} \cdot N_2 + Z_{26} \cdot N_2 + 2Z_{35} \cdot N_3 + Z_{65} \cdot N_6 + Z_{85} \cdot N_8) \cdot Ne + R_{06} \cdot N_0 \cdot N_6 + R_{15} \cdot N_1 \cdot N_5 + R_{19} \cdot N_1 \cdot N_9 + 3R_{38} \cdot N_3 \cdot N_8 + R_{47} \cdot N_4 \cdot N_7 + 2R_{56} \cdot N_5 \cdot N_6 + 2Z_{78} \cdot N_7 \cdot N_8 - N_5 \cdot (D_a \cdot \mu + R_{58} \cdot N_8 + R_{56} \cdot N_6 + R_{59} \cdot N_9 + 2R_{50} \cdot N_5 \cdot N_0 + R_{005} \cdot N_0^2 + 3R_{555} \cdot N_5^2)$

準安定原子 $O(^1D)$ $dN_6/dt = Z_{Bd} \cdot N_0 \cdot Ne + Z_{56} \cdot N_5 \cdot Ne - N_6 \cdot (D_a \cdot \mu + 1/150 + R_{06} \cdot N_0 + R_{56} \cdot N_5)$

原子正イオン O^+ $dN_7/dt = Z_{Id} \cdot N_0 \cdot Ne + (Z_{57} \cdot N_5 + Z_{67} \cdot N_6) \cdot Ne - Z_{70} \cdot N_7 \cdot Ne - N_7 \cdot (D_a \cdot \mu + R_{07} \cdot N_0 + R_{47} \cdot N_4 + R_{78} \cdot N_8 + R_{79} \cdot N_9)$

原子負イオン O^- $dN_8/dt = Z_{AD} \cdot N_0 \cdot Ne + Z_{078} \cdot N_0 \cdot Ne + Z_{18} \cdot N_1 \cdot Ne + Z_{25} \cdot N_2 \cdot Ne - Z_{85} \cdot N_8 \cdot Ne - N_8 \cdot (D_a \cdot \mu + R_{08} \cdot N_0 + R_{18} \cdot N_1 + R_{38} \cdot N_3 + R_{58} \cdot N_5 + R_{78} \cdot N_7)$

オゾン O_3 $dN_9/dt = -Z_{94} \cdot N_9 \cdot Ne + R_{005} \cdot N_5 \cdot N_0^2 - N_9 \cdot (D_o \cdot \mu + R_{09} \cdot N_0 + R_{19} \cdot N_1 + R_{59} \cdot N_5 + R_{79} \cdot N_7) + R_{68} \cdot N_6 \cdot N_8 + R_{005} \cdot N_5 \cdot N_0^2 + R_{18} \cdot N_1 \cdot N_8 + R_{45} \cdot N_4 \cdot N_5$

衝突反応過程の他に自然放射遷移($A_{ij} \cdot N$)・拡散損失($D \cdot N \cdot \mu$)も含める。分子および原子に対し励起寿命 τ [A]=1000s, [a]=2500s, [b]=7s, [1D]=150s⁹⁾。円筒形プラズマの直径 $2R=20\text{mm}$ 長さ $L=100\text{mm}$ (断面積 $S=\pi R^2$) とし、拡散の特性長の自乗逆数を $\mu = [(2.4028/R)^2 + (3.14159/L)^2]$ で表し、粒子の空間分布は軸方向に正弦波で径方向に零次のベッセル関数で表されている¹⁰⁾。酸素分子気体内での酸素分子正イオンの両極性拡散係数と気圧 $P[\text{Torr}]$ の積 $D \cdot P=110[\text{cm}^2/\text{s}]$ 分子負イオン $D_n \cdot P=74.6$ オゾン $D_o \cdot P=216$ 酸素原子の正・負イオンや中性酸素分子の拡散係数は $D_m \cdot P=52.2$ と仮定した¹¹⁾。

定常状態を仮定すると各レート方程式の時間変化を零とにおいて、例えば $dN_1/dt=0$ では $N_1 = [Z_a \cdot N_0 \cdot Ne - (Z_{10} + Z_{18}) \cdot N_1 \cdot Ne + R_{06} \cdot N_0 \cdot N_6] / (1/2700 + D_m \cdot \mu + R_{01} \cdot N_0 + R_{15} \cdot N_5 + R_{19} \cdot N_9)$ と表される。同様にして各密度の

式が求まり、9つの各密度について逐次代入法により占有密度の計算を行う。なお、初期解を準安定分子 N_1 分子イオン N_3 基底準位原子 N_5 の3準位系として求め、その近似解から出発して9準位系のレート方程式を解くこととした。この時電子密度は準中性条件 $Ne + N_4 + N_8 = N_3 + N_7$ を用いて求めた。

§ 4 計算結果と考察

始めに使用した衝突断面積について明らかにする。運動量変換衝突断面積の電子エネルギー依存性を図1に示す。菱形は文献値³⁾、三角印(黒)は本計算で使用した値である。酸素基底原子の弾性衝突断面積の計算値である。1eV付近からでここで使用した方が大きくなった所もあるが全般的にはほぼ一致している。原子と分子とで数eV以上ではあまり差がないことが分かる。

非弾性衝突のうち電子励起衝突断面積の電子エネルギー依存性を図2に示す。電離(四角)が最も大きく広い電子エネルギー範囲に分布している。励起ではB準位(三角)、A準位(菱形)Cとc準位への励起の順に小さくなり、a準位とb準位は電子エネルギーの小さい側でその他は大きい電子エネルギー側に分布している。電子エネルギー分布関数を決定する非弾性衝突は電離とB準位であると予想される。

振動励起衝突断面積の電子エネルギー依存性を図3に示す。振動量子数 v が大きくなると衝突断面積は小さくなり、その最大となる電子エネルギーは僅かずつ大きくなる。4つの断面積の和も一緒に示してある。2eVで

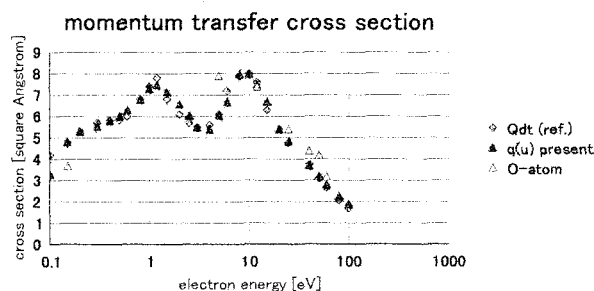


図1 運動量変換衝突断面積の電子エネルギー依存性

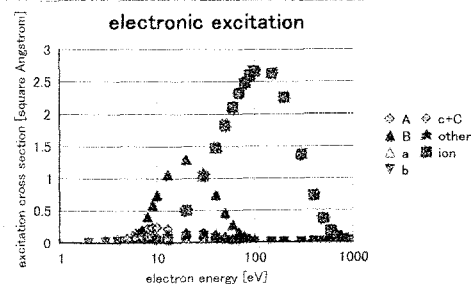


図2 電子励起衝突断面積の電子エネルギー依存性

スパイク状に現れる部分の衝突断面積は最大で0.011程度の大きさでエネルギー幅が0.1meVと小さいためその影響はほとんど無視できるので省略した²⁾。

電子エネルギー分布関数の例を図4に示す。計算は電子エネルギー刻み幅0.02[eV]一定として求めた。電子エネルギー分布関数の高エネルギー側は図のようにほぼ直線を描きマクスウェル分布で近似できるが、低エネルギー側はマクスウェル分布では低エネルギー電子の過大評価となり、このエネルギー付近で有効な再結合などの反応係数の評価に影響する。平均エネルギーと等価な電子温度を持つマクスウェル分布で考えると高エネルギー側と低エネルギー側の両方で分布関数値は過大評価され、中間はその逆になる。換算電界 $E/P=5$ [V/cmTorr]の場合についてみると電子エネルギーが3 eVの付近まで分布関数値は増加し最大値となった後減少し、5 eV辺りから直線的に減少している。縦軸は対数目盛なので指数関数的減少を示しそのエネルギー依存性はマクスウェル分布と一致する。ここで用いた電子エネルギー分布関数の計算モデルでは電子エネルギー分布関数は換算電界 E/P または E/N によりほぼ定まる。換算電界の増加により5 eV以上のエネルギー領域では直線の勾配の絶対値が小さくなり対応する電子温度は増加する。5 eV以下の領域の最大は小さく成り、その形状は高エネルギー側に広がりなだらかになる。

計算した電子輸送係数と換算電界の関係を図5に示す。移動速度（菱形）の換算電界依存性を計算値と測定値（逆三角）¹²⁾で比較すると良くあっているのが分かる。

電離係数（三角）・特性エネルギー（三角・黒）では

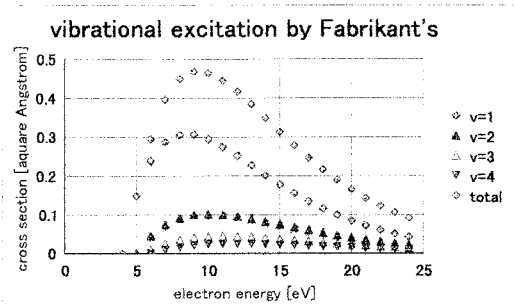


図3 振動励起衝突断面積の電子エネルギー依存性

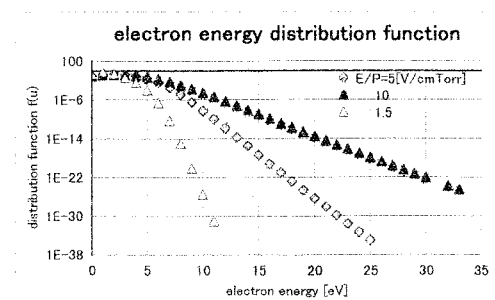


図4 電子エネルギー分布関数の計算例

換算電界が大きくなると、観測値の電離係数（星形）特性エネルギー（菱形）に対し計算値が大きめになっている以外は良く測定値を再現できている。

占有密度の換算電界依存性 大気圧酸素プラズマ内の占有密度の換算電界(E/P)依存性を図6に示す。気体温度 $T_g=300$ [K]の場合、密度が多い順に酸素原子基底準位、同準安定準位、同正イオンと電子密度が重なり、酸素分子の a 準位と $A+C$ 準位が同じくらいである。その下に分子正イオン、原子負イオン、オゾン、分子負イオンになっている。換算電界(E/P)が増加すると電子衝突解離の活発化により酸素原子の密度が増加していく。それに伴って酸素分子の密度が減少し、生成に必要な分子の減少によりオゾンは急激に減少していく。この計算は酸素原子の総数（質量）が一定（封じりの放電管）を想定している。分子と原子の粒子数密度を合計するとその値は増加し、温度一定のもとで圧力が増加、結果として換算電界(E/P)は減少する。また分子の解離が進むと原子の数が増加し電子エネルギー分布関数の計算に用いた酸素分子のほかに酸素原子の衝突断面積をそれぞれの密度の比率に応じて考慮しなければいけない。そのためにはレート方程式とボルツマン方程式を同時に解く必要があるがここではそれは行わない。ところで酸素原子の衝突断面積は理論値が現在いくらか入手できる¹³⁾。それによると酸素原子と電子の弾性衝突の衝突断面積は分子の場合とほとんど差はなく、1 eV付近でわずかに異なる程度である。そのうえ非弾性衝突は弾性衝突に比べ断面積

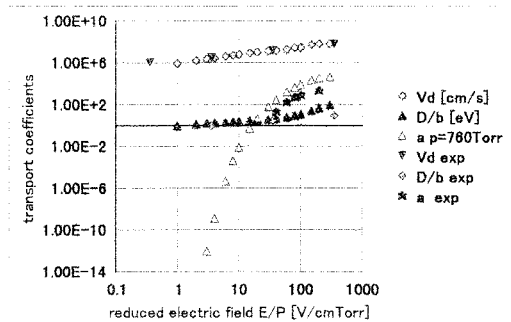


図5 電子輸送係数（移動速度、電離係数、特性エネルギー）と換算電界の関係

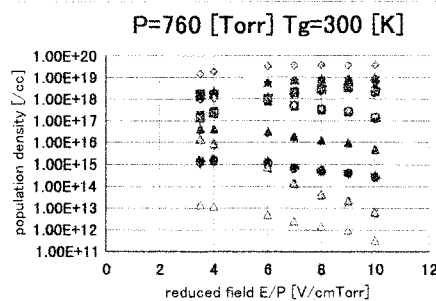


図6 大気圧酸素プラズマ内の占有密度の換算電界(E/P)依存性

の大きさが一桁以上小さく電子エネルギー分布関数への影響は小さく、原子の非弾性衝突断面積が分子の場合とあまり変わらないと仮定した。ここに示した占有密度はかなり大きな値を示している。気圧が高いせいかもしれないが、この電子密度をもとに電流値 ($q \cdot Ne \cdot Vd \cdot S$) を計算すると数百 kA 近くに達する、例えば $E/P=3.5[V/cm \cdot Torr]$ で電流 103.6[kA] である。電子エネルギー分布関数の導出にドリフト項を考慮する必要があるのかもしれない¹⁴⁾。

各電子衝突項について換算電界に対する変化を図 7 に示す。衝突項の値は換算電界が 3 [V/cmTorr] から 10 に変えた左から右の変化に対応して描いてある。顕著に変化しているのは電離 Zi 解離性電離 Zid 電子励起 ZW 基底原子の電離 Z57 準安定原子の電離 Z67 解離性電離で正負両イオンが生成される Z078 である。これらはその衝突断面積が高い電子エネルギー領域に分布し、この換算電界の領域で電子エネルギー分布関数が最も大きく変化しているためである。一方低エネルギー電子が主たる役割を果たす衝突過程では換算電界による変化は少なくなっている事が分かる。

気体温度の効果 大気圧酸素で気体温度 1000[K] の場合の占有密度の換算電界依存性を図 8 に示す。占有密度が計算可能な換算電界領域が狭くなっている。密度の大きさの順番はあまり変化していない。分子・原子間衝突が影響を受け、気体温度の増加は分子・原子間の反応を活性化または抑制し原子密度の増加になる。分子も少し増加しているが、オゾンは 2 桁近く減少している。放電

時動作圧力に対する酸素原子とオゾンの割合を百分率で表すと換算電界 $E/P=3.5 \sim 5[V/cm/Torr]$ に対し原子で 86.5%~95.1% に増加、オゾンで 0.0012%~0.000013% へ減少する。気体温度 $T_g=300[K]$ の場合は換算電界 $E/P=3.5 \sim 10[V/cm/Torr]$ に対し原子で 46.5%~94.8% に増加、オゾンで 0.040%~0.000013% へ減少する。同じ温度で $E/P=6$ の時、原子 83.8% オゾン 0.0017% である。この換算電界強度まで急激に変化しその後は飽和は気味である。気体温度が高い方が分子の解離が活発でオゾンの割合も急激に減少していることが分かる。

図 9 に気圧が低い場合 $P=76Torr$ の占有密度の換算電界依存性を示す。この時の各密度は全般的に小さいが、換算電界による変化は気圧が高い場合とほぼ同じである。換算電界の増加に対し酸素原子 (P,D,正イオン) は少しずつ増加するが、酸素分子やオゾンおよび負イオンは減少している。換算電界 $E/P=4 \sim 9[V/cm/Torr]$ に対し原子で 58.1%~95.9% に増加、オゾンで 0.0076%~0.0000185% へ減少する。オゾナイザ放電は気圧が低い方が安定で気体温度が低い方がより多くのオゾンが存在することが知られておりそれに対応する事が推定される¹⁵⁾。

問題点 酸素プラズマ内に存在する酸素分子と酸素原子の両方を考慮した電子エネルギー分布関数の計算とレート方程式による占有密度の計算を同時に成り立たせる必要がある。原子密度の増加により衝突過程の割合とともに換算電界 (E/P) が変化し電子エネルギー分布関数も大きな影響を受ける。

オゾナイザでは多数のマイクロ放電 (直径 0.1mm 長さ数 mm 電流 0.065mA) が存在しており¹⁵⁾、それに対応した放電形状モデルの採用、交流またはパルスパワー放電で時間と共に変化するプラズマとして扱うことが必要。また原料気体として空気の利用が行われている¹¹⁾。そこで、窒素プラズマと酸素プラズマを結合し、混合気体すなわち空気プラズマの解析を試みる必要がある。混合気体では異なる分子間の化学反応の可能性があり、その利用にはプラズマ特性の解析は不可欠である。それはまた環境問題の NO_x の処理に代表されるシミュレーション技法

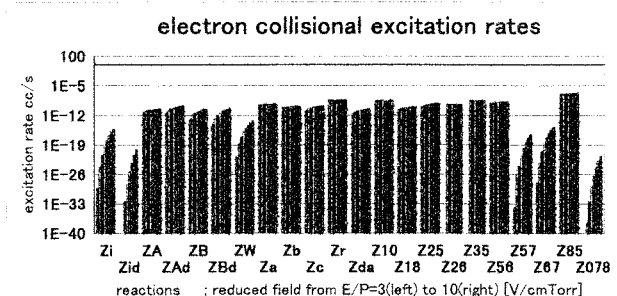


図 7 各電子衝突項について換算電界に対する変化

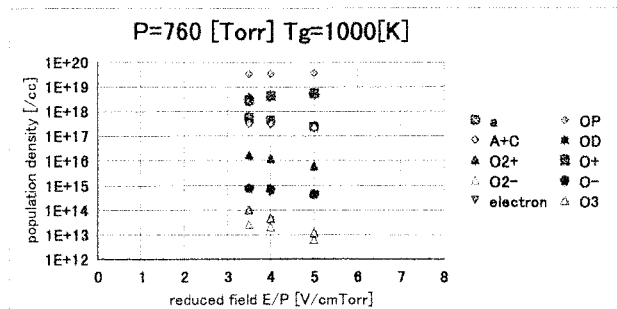


図 8 大気圧酸素プラズマ (気体温度 1000[K]) の占有密度の換算電界依存性

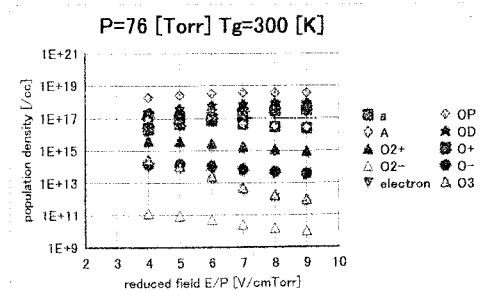


図 9 低気圧 $P=76Torr$ の占有密度の換算電界依存性

の確立に重要である。

§ 5 まとめ

酸素プラズマ中の電子エネルギー分布関数をボルツマン方程式の二項展開より求めた。放電気体の構成粒子は酸素分子しか考えてない。報告された観測値(酸素分子)をほぼ再現していた。それを用いて得た電子輸送係数と分子間の反応係数より9準位のレート方程式を解き占有密度を求めた。分子気体では分子特有の振動励起が存在するため、その衝突断面積の影響を受け電子エネルギー分布関数は低エネルギー領域でマクスウェル分布と大きく異なる。酸素大気圧プラズマは換算電界の増加により分子の解離が進み酸素原子がかなり多く存在するようになる、一方オゾンや酸素分子の数密度は減少していく。気体温度特性や気体圧力の効果は実験特性をほぼ表していた。解離が容易な分子気体の放電プラズマ中には多数の原子が分子と共に存在しているため、解離で生成された原子も考慮して電子エネルギー分布関数を求めるべきであろう。

kinetics model for the analysis of NO reduction from fuel gases”

- 9) A.A.Radzig,B.M.Smirnov: “Reference Data on Atoms,Molecules,and Ions” Springer-Verlag(1985)
- 10) 奥田孝美: 「気体プラズマ現象」 コロナ社(1975)
- 11) J.S.Chang,R.M.Robson,市川幸美、金田輝男「電離気体の原子・分子過程」東京電機大学出版局(1982)
- 12) H.S.W.Massey; “Electronic and Ionic Impact Phenomena” 2nd.ed.vol. II Ⅲ,Clarendon Press(1969),p785-,p986-1020,2nd.ed.vol.Ⅲ p1829-,p2064-,
- 13) H.S.W.Massey; “Electronic and Ionic Impact Phenomena” 2nd.ed.vol. I,Clarendon Press(1969)
- 14) T.Tagashira,Y.Sakai and S.Sakamoto;J.Phys.D10, p1051-(1977)
- 15) 野間喜樹、五藤圭二、山形幸彦、蛭原健治: 「高周波無声放電のマイクロ放電の観測とオゾン生成効率の改善」電気学会論文誌A121(4)p366-371(2001)

(平成13年4月16日受付)

参考文献

- 1) 電気学会放電ハンドブック編集委員会「放電ハンドブック」(1978)第1編9章p263-270
- 2) S.C.Brown: “Electron-molecule scattering” John Wiley & Sons Inc.(1979)p44,p82-92
- 3) S Kajita,S Ushiroda,and Y Kondo;J.Appl.Phys. vol.67no.9(1990)p4015-4023 “Influence of the dissociation process of oxygen on the electron swarm parameters in oxygen”
- 4) 塚本,浪平,王,勝木,秋山,中島,佐藤,内田,小池;「火力発電所におけるパルスパワーを用いた実ガス処理」電気学会論文誌A119-7p984(1999)
- 5) 吉岡,新川「無声放電によるエンジン発電機の排ガス中のNO_x除去システムの設計」電気学会論文誌A120-2p250(2000)
- 6) 伊藤,萩原,中浦,恩田,田中「電界とパルス幅が放電脱硝性能に与える効果の数値計算」電気学会論文誌A120-11p979-986(2000)
- 7) Siddhartha Panda and Demetre J.Economou,and M.Meyyappan;J.Appl.Phys. vol.87no.12(2000)p8323-8333 “Effect of metastable oxygen molecules in high density power-modulated oxygen discharges”
- 8) O.Eichwald,M.Yousfi,A.Hennad,and M.O.Benabdessadok;J.Appl.Phys. vol.82no.10(1997)p4781-4794 “Coupling Of chemical kinetics,gas dynamics and charge particles

神戸市の近代洋風建築とその保存方法について

(環境都市工学科) 岡本 二郎
(専攻科建設工学専攻) 河野 友紀

A Study on Modern Western-style Architecture in Kobe-city and a Proposed Preservation Method

(Department of Civil and Environmental Engineering) Jiro OKAMOTO
(Advanced Architecture and Civil Engineering Course) Yuki KAWANO

Abstract

The aim of this paper is to investigate and analyze existing modern western-style architecture in Kobe-city and preservation method of them. In the case of investigating these cultural assets, we apply a method of classifying them into four kinds of preservation method. In addition to this investigation, we deal with the destruction of valuable architectural heritage in Kobe-city.

Key Words : modern western-style architecture, architectural heritage, preservation method, Kobe-city
近代洋風建築、建築遺産、保存方法、神戸市

§ 1 はじめに

神戸市の近代洋風建築の保存活動及び保存状況を考察していく上で、1995年1月17日に発生した阪神・淡路大震災を無視することはできない。旧神戸居留地十五番館^{注1} (中央区浪花町、1881年、写真5)、下山手カトリック教会 (中央区下山手通、1910)、神戸栄光教会^{注2} (同、1924、写真6) など神戸市内に残る多くの貴重な近代建築遺産が、地震によって倒壊、あるいは被災後に取り壊された。また「北野町山本通伝統的建造物群保存地区」(以下、「重伝建地区」) 内の伝統的建造物に指定された洋風住宅は、そのほとんどが震災によって損傷し、その後、震災復興事業の一環として文化庁及び神戸市教育委員会が中心となって修復工事が行われた。

本稿では、神戸市に例を取り、近代洋風建築を対象にその保存の現状と保存手法について調査し、考察することとした。これによって近代建築の今後の保存方法の方向性を見出すための参考となるものと考え。

ここで神戸市の略歴について簡単に触れておく。神戸市は1889年(M22)に市制を施行し、その後は周辺市町村との合併を繰り返して行政区域を拡大してきた。1931年(S6)に区制を施行し、現在は東灘区、灘区、中央区兵庫区、北区、長田区、須磨区、垂水区、西区の9区制を敷いている。また1956年(S31)に指定都市となっている。総人口は約148万人(2000年3月末現在)、

世帯数約58万世帯(同)である。

1995年1月17日の早朝におきた阪神・淡路大震災によって神戸市は甚大な被害を被り、都市機能が全くマヒしてしまった。しかしその後の震災復興事業によって急速に都市機能を回復し、現在に至っている。

§ 2 神戸市における近代洋風建築の分布状況について

この章では、まず神戸市内において近代洋風建築が比較的多く現存している地区を取り上げ、考察を進める。具体的にはつぎに示す3地区を対象にした。

- (1) 洋風建築が多く残っている北野・山本地区
- (2) 事務所・商業建築が多く残る旧居留地とその周辺地区
- (3) 大正期・昭和初期の住宅建築が多く分布する東灘区

2.1, 洋風住宅が多く残っている北野・山本地区

神戸市では1979年(S54)に「神戸市都市景観条例」を制定し、それに基づいて「北野町山本通都市景観形成地域」^{注3}を指定した。さらに住宅環境保全ゾーン、住宅・商業共存ゾーンに分類し、ゾーン別の景観誘導を図るために景観形成道路、同小径、同広場を定め、各ゾーンごとの「景観形成基準」を設けた。また都市景観形成地域内に洋風住宅群の保存を目的とした「伝統的建造物群保

^{注1} 地震で完全に倒壊し、その後に復元される。

^{注2} 1995年2月に取り壊される。

^{注3} 神戸市中央区北野町1～4丁目及び山本通1～3丁目の全域、約50ha。

存地区」約9.3haを設定し、洋風住宅29件、和風住宅7件の計36件64棟を市指定伝統的建造物¹⁴⁾とした。この保存地区は、その翌1980年には国指定の「重要伝統的建造物群保存地区」となった。しかし、1995年(H7)の大震災は保存地区内の洋風住宅の多くに損傷を与え、保存地区内に再び観光客を呼び寄せるにいたるまでにはかなりの時間と費用(労力)が必要であった。

この北野・山本地区に現存する洋館住宅のうち主だったものについては、次章の3.2.3 修復保存の項目でも取り上げるが、ここではそれ以外の建物を取り上げる。

うろこの家(旧ハリヤー邸、1922)、旧異人館長屋(洋館長屋、1908、写真7)、ラインの館(旧ドレウエル邸、1915)、オーバーライン邸(ムーア邸、1899)、風見鶏の館(旧トーマス邸、1909)、萌黄の館(旧シャープ邸、1903)、東天閣(旧ビショップ邸、1894、写真9)などである。

「うろこの家」(写真1)は、1901年(M34)に居留地区内に建てられた洋館住宅で、1922年(T11)に現在地に移築されたもの。参考文献・資料等の多くが、建設年を最初の建設時期でなく、移築された時期を採られている。名称の由来となって「うろこ」とは、主に屋根葺き材料として使用される天然スレートを建物壁面にうろこ状に張り付けているところからきている。震災後に所有者によって修復された。

「風見鶏の館」(国指定重要文化財、写真2)は、ドイツ人貿易商のゴットフリート・トーマス邸として、1909年(M42)にゲオルグ・デ・ラランデ Georg De Lalande (1872-1912)の設計により建設された洋館住宅で、震災で煙突が倒壊するなど煉瓦造ゆえに被害が大きかった。

「萌黄の館」(写真8)は、1903年(M36)にアメリカ人総領事であったハンター・シャープの邸宅として建設されたもの。1944年以後は神戸電鉄の社長を務めた小林秀雄氏が所有していた。この建物も国指定重要文化財となっている。設計はハンセル Alex N. Hansell (1856-1940)によるものと推定されている。彼は1888年(M21)に来日したイギリス人建築家で、神戸クラブ(1890竣工、1945年焼失)、デ・ラ・カンパ商会(居留地121・122番、1945年焼失)、香港上海銀行神戸支店(同2番)、クラブ・コンコルディア(同123、126番)、ドイツ領事館(同115番、1945年焼失)、ブラウン商会(同26番)、ジャーディン・マセラン商会(同83番、後の山下新日本汽船)など居留地内に多くの洋館建築設計を設計している。また北野・山本地区に、シュエケ邸(旧ハンセル自邸)、門兆鴻邸(旧ディスレフセン邸)、旧ハッサム邸などの洋館住宅の設計も手掛けている。

「重伝建地区」内のほとんどの洋館建築が震災によっ

表1 旧居留地の略歴(主な建物建設経過を含む)

1854	幕府は日米和親条約(神奈川条約)を締結し、開国
1858	幕府はさらに日米修好通商条約を締結し、箱館、神奈川、長崎、新潟、兵庫の開港、江戸、大坂の開市を取り決める
1859	横浜、長崎、箱館(函館)を開港
1868	兵庫(神戸)開港、兵庫鎮台及び運上所を設置 J.W.ハート、居留地の区画を設計(126区画、13万m ²)居留地(永代借地権)の第1回競売の実施
1871	生田川の付け替え工事、竣工
1873	居留地の第4回(最終回)競売の実施
1874	居留地内にガス灯を設置
1888	イギリス人建築家 A.N.ハンセルが来神、居留地内の洋風建築設計に携わる
1889	市制(神戸市)を敷く
1890	A.N.ハンセル、神戸クラブ、デ・ラ・カンパ商会、クラブ・コンコルディア、サミュエル・サミュエル商会(54番)、ブラウン商会などを設計
1899	神戸外国人居留地を撤廃、日本に返還
1900	○ウインクレル商会建設(100番)
1901	○ドイツ領事館建設(115番)
1902	○香港上海銀行建設(8番、三代目)
1905頃	○マセソン商会建設(山下新日本汽船神戸支店取壊し)
1907	○オリエンタル・ホテル建設(6番)
1913	神戸新港第1突堤が完成
1918	○三井物産ビル建設(3・4番、海岸ビル)
1919	○内田汽船ビル建設(45番、大興ビル取壊し) ○川崎銀行本店建設(35番、三井銀行神戸支店取壊し)
1921	神戸開港50周年、市制30周年の記念行事を開催 ○明治海運ビル建設(31・32番、明海ビル取壊し) ○クレセントビル建設(72番取壊し)
1922	○大阪商船神戸支店)建設(5番、大阪商船三井ビル
1929	○ナショナルシティ銀行神戸支店建設(38番、大丸南第1別館) ○三菱銀行三宮支店建設(48番、同神戸支店取壊し)
1933	「第1回みなとの祭」開催 ○岡崎銀行総本店建設(56番、太陽神戸銀行本店取壊し)
1934	○神戸証券取引所建設(51・60番、朝日会館取壊し)
1935	○横浜正金銀行神戸支店建設(13・4・23・4番、神戸市立博物館) ○同和火災ビル建設(19番)
1936	阪神電鉄、三宮・元町間の地下鉄が開通。
1937	○大同貿易ビル建設(57番、太陽神戸銀行分館取壊し) ○日本毛織ビル建設(47番)
1938	阪神大水害が発生(7/5) ○チャータード銀行神戸支店建設(9番)
1939	○神港ビル建設(8番)
1942	旧居留地の永代借地権が消滅
1945	神戸大空襲。連合軍、港や市内の建物を接收
1951	神戸港の管理が国から市に移管
1967	「神戸開港100年祭」開催
1982	神戸市立博物館が開館
1993	「アーバンリゾートフェア神戸'93」開催
1995	阪神・淡路大震災が発生(1/17)
1999	「神戸居留地返還100年祭」開催

て大きな被害を被ったため、神戸市は伝統的建造物群保存地区制度に基づき、文化庁と共同で同地区内の洋館住

¹⁴⁾その他に、指定されていない伝統的洋風建築物6件、工作物65ヶ所、必要物件10件。

宅の修復工事を行っている。

しかし一方で震災がもとで修復されることもなく取り壊された洋館住宅も少なくない。『異人館復興』¹²⁵によると、震災後に取り壊された洋館建築として、ドルゴフ邸、フロインドリーブ邸（1907）、旧陳邸（1923）、奥野邸（1897）、ジャスワル邸（1930）、旧ロシアクラブ、呼邸があげられている。

2.2, 事務所・商業建築が多く残る旧居留地とその周辺地区

この地区は1868年に兵庫（神戸）開港の年に外国人居留地として整備され、その後の神戸市発展の原動力になった地区である。居留地建設当初の建築物として唯一、残っていた旧神戸居留地十五番館が震災によって全壊したため、現在では居留地建設当初の建築物は存在しない。十五番館は震災後に復元され、その面影を今に伝えている。

旧居留地とその周辺地区で震災にも耐えて残っている近代洋風建築は、神戸市立博物館、商船三井ビル、神港ビルディング、チャータードビルなど20棟前後にのぼる。

神戸市は1983年(S58)に、旧居留地地区を都市景観条例に基づいて都市景観形成地域に指定し、また1995年(H7)4月には都市計画法による地区計画を決定している。

2.3, 大正期・昭和初期の住宅建築が多く分布する東灘区

大正期・昭和初期に建設された住宅建築が、東灘区全域にわたって広く分布している。その中には乾豊彦邸（住吉山手、1936、渡辺節設計）、小寺敬成邸（同、1930、ヴォーリズ建築事務所設計）、木水肇邸（御影町、1926、小川安一郎設計）、甲南漬資料館（旧高嶋平介邸、御影塚町、1931、清水栄二設計、写真3）など多くの住宅建築が現存している。

§3 神戸市における近代洋風建築の保存方法について

この章では神戸市内に現存する近代洋風建築について、保存の事業主体別と保存方法の二つの項目に分けて考察する。

なお、表1に「神戸市内に現存する近代洋風建築」を、表2に「震災で倒壊、または震災後に取り壊された神戸市内の主な近代洋風建築」を、表3に「震災以前に取り壊された神戸市内の主な近代洋風建築」をまとめ巻末に掲載した。

3.1, 神戸市内の近代洋風建築保存の事業主体別について

事業主体別にみれば、大きく三つに分類することが出来る。国、県、市の行政主導型、民間主導型、それに最近では登録文化財制度を活用した行政・民間協調型がそれにあたる。以下、分類別に考察する。

3.1.1, 国、県、市の行政主導型

神戸市内の国指定の重要文化財は6件ある。具体的には旧ハンター邸（灘区青谷町王子公園内、1889、写真10）、風見鶏の館、萌黄の館、旧小寺家厩舎（中央区中山手通相楽園内、1907、写真11）、旧ハッサム邸（同、1902、写真12）、そして旧神戸居留地十五番館である。

県指定文化財は孫中山記念館（移情館、垂水区舞子公園内、1918）がある。市指定伝統的建造物としては、現在、洋風住宅（異人館）を中心に36件64棟が指定されている。

3.1.2, 民間主導型

近代洋風建築の保存主体の大半は民間である。北野・山本地区の洋風住宅の所有形態はほとんどが個人所有で、建物を一般公開して入館料金を徴収し、それが建物維持費の財源の一部となっている。旧居留地内の事務所・商業建築は民間企業の所有がほとんどで、建物維持管理については、全て所有する民間企業に委ねられている。

この地区内の関連企業が集い、地区内の近代洋風建築の保存と活用を目指し、「旧居留地連絡協議会」を結成している。その主な活動内容は、各種イベントの開催、広報誌「居留地会議」やガイドマップの発行などである。1999年(H11)7月17日が神戸居留地返還100年に当たり、同協議会はこれを記念して「神戸・居留地返還100年祭」を企画し、各種イベントを行った。

3.1.3, 行政・民間協調型

これには二つの要因がある。一つは文化財登録制度であり、二つ目に世界文化遺産の登録制度である。これらを行政・民間協調型とする。

1996年(H8)の文化財保護法の改正によって新たに登録文化財制度が設けられた。現在、この指定を受けている建造物のうち、近代洋風建築は木水肇邸（東灘区御影町、1926、小川安一郎設計）、室谷邸（須磨区離宮前町、1934）、神戸市水の科学博物館（旧奥平野浄水場急速濾過地、兵庫区楠谷町、1917、河合浩蔵設計、写真13）、神戸市立博物館、うろこの家、海岸ビルの6件である。

もう一方の世界遺産の登録制度は、1992年(H4)の世界遺産条約の批准によって日本の文化遺産・自然遺産の登録が可能になった。現在のところ、神戸市には世界遺産の登録対象となった建造物はない。

¹²⁵ 神戸市教育委員会編『住まい学大系091 異人館復興—神戸市伝統的建造物修復記録—』住まいの図書館出版局（1998）

3.2, 神戸市内の近代洋風建築の保存手法について

神戸市内の近代洋風建築の保存手法を、便宜的に現状保存、再利用保存、修復保存、外壁保存、外観保存、エレメント保存、移築保存、復元保存の8種類に分類して考察を進める。

3.2.1, 現状保存

現状保存とは、現存する近代洋風建築のうち、建設当初から現在までほとんどその用途を変えることなく、また建物の維持管理の目的以外には大きな変更を加えず、現在まで残っている建物の状態と解釈する。

神戸市における現状保存の具体例としては、旧居留地内の神港ビル、商船三井ビル、神戸郵船ビル、海岸ビルヂング、神戸住友ビルなどの事務所ビル、神戸市立御影公会堂、神戸掖済会病院などがある。これらの建物について、ここで簡単に触れておく。

神港ビルディング（中央区海岸通、1939、木下建築事務所設計、写真20）は、1939年(S14)に川崎汽船本社ビルとして建設されたもので、塔屋の壁面はアール・デコ調のスタイルでまとめられている。

商船三井ビル（同、1922、写真14）は、1922年(T11)に大阪商船神戸支店として建設されたビルで、設計は渡辺節建築事務所による。渡辺節（1884-1967）が設計した建築物で現在も神戸市内に残っているのは、既述の乾豊彦邸と神戸海洋气象台旧館（中央区中山手通、1920、写真17）がある。旧館については新館が既にあり、その存亡が危ぶまれている。既に取り壊されたものに旧朝日ビル・朝日会館（旧神戸証券取引所、中央区播磨町、1934）がある。

神戸郵船ビル（中央区海岸通、會欄中條建築事務所設計、写真15）は、1918年(T7)に日本郵船神戸支店として建設されたものである。

海岸ビルヂング（中央区海岸通、旧日豪会館、河合浩蔵設計、写真16）は、1911年(M44)に兼松商店本社として建設されたものである。

神戸住友ビル（中央区栄町通、長谷部・竹腰建築事務所設計、写真21）は、1934年(S9)に建設された。

神戸市立御影公会堂（東灘区御影石町、写真22）は、1933年(S8)に清水栄二（1895-1970）の設計によって建設されたもので、現在も公会堂として機能している。清水栄二は初代の神戸市営繕課長を努めた人物で、御影公会堂の他に神戸市立魚崎小学校（東灘区魚崎中町、1929）や前述の甲南漬資料館（旧高嶋平介邸）も彼の設計で、その他に既に取り壊された旧御影町役場

（1924）も彼の作品である。

神戸掖済会病院（旧日本海員掖済会神戸病院、中央区中山手通、原科建築事務所設計、写真23）は1931年(S6)に建設されたものである。

3.2.2, 再利用（あるいは再活用）保存

建設当初の用途を変えて現在まで残っている近代建築物で、それにはいろいろなケースが考えられる。

(1) 時代が下がるとともに建物の建設当初の使用目的が時代に合わなくなり、用途を変更して残っているもの。具体的な例としては、神戸ハーバーランドの煉瓦倉庫レストラン（旧日本貿易倉庫、中央区東川崎町、1897年頃、写真24）、旧居留地内のチャータードビル、旧神戸市立北野小学校、旧神戸ユニオン教会などの煉瓦建造物がこれにあたる。震災で全壊した六甲23（旧小泉製麻工場、灘区新在家南町）もこの類型にはいる。

チャータードビル（中央区海岸通、1938）は、1938年(S12)にチャータード銀行神戸支店としてJ.H.モーガン（?-1937）の設計によって建設された建物である。現在は存在しないクレセントビル（中央区京町、1921）も彼の作品である。チャータードビルは久しく空きビルの状態が続いていたが、最近になって部分的ではあるが1階を改装してダイニング・バーが開店した。

旧神戸市立北野小学校（中央区中山手通、1931）は店舗約20軒が入居し、「北野工房のまち」を形成している。また旧神戸ユニオン教会（中央区生田町、1929、ヴォーリズ建築事務所設計）ではカフェとドイツ洋菓子・パンの店舗に変身している。¹³⁶

(2) 建物所有者が変わり、使用目的が変更されて残っているもの。ファミリア西館商品管理部（旧三菱銀行神戸支店、中央区相生町、1900、會欄達蔵設計、写真25）、大丸南第一別館・リブラブウェスト（旧ナショナル・シティ銀行神戸支店、中央区明石町、1929、ヴォーリズ建築事務所設計、写真26）、大丸テニススクール須磨（旧西尾類蔵邸、須磨区離宮西町、1920）である。

ヴォーリズ建築事務所は、旧ナショナル・シティ銀行神戸支店以外にも神戸市内にいくつかの作品を残している。例えば、小寺敬一郎、室谷邸の洋館住宅、前述の旧神戸ユニオン教会もそうであり、既に取り壊されて存在しないが、旧カナダ学校寄宿舎（灘区長峰台、1933）、旧頌栄幼稚園（中央区中山手通、1931）もヴォーリズ建築事務所が手掛けている。

(3) 保存を目的として博物館、資料館など使用目的を変えて残っているものなどである。代表的なものとしては、神戸市立博物館（旧横浜正金銀行神戸支店、中央区京町、1935、桜井建築事務所設計、写真27）、兵庫県公館（旧兵庫県庁南庁舎、中央区下山手通、1902、山口半六設計、写真28）が考えられる。この場合は、現在の建物用途が当初のそれとは異なるとしても、保存するという強い意志が表われている。

¹³⁶ 「日本経済新聞」'01.4.14の「出かけてみよう・神戸の近代建築、カフェに変身」欄による。

3.2.3, 修復保存

震災後にすぐに文化庁建造物課が中心となって、兵庫県教育委員会、神戸市教育委員会と共同して「重伝建地区」内の洋館住宅及び国指定重要文化財の被害調査を行っている。また日本建築学会近畿支部の歴史・意匠系四部会は歴史的建造物を調査対象に、調査対象区域をさらに拡大し、約1ヶ月かけて調査を行った。そして、その結果を『阪神大震災歴史的建造物被災調査報告書』としてまとめている。それらの調査をもとに、「重伝建地区」内の洋風住宅の多くが文化庁の指導のもとで修復されることになる。この内容については先に紹介した『異人館復興』に詳しい。それによると主に以下の洋館住宅が修復工事の対象となっている。

旧フェデセック邸（英国館、1909）、旧パナマ領事館（ヒルトン邸、1897、写真29）、レイン邸（1900）、寺西邸、片桐・山本邸、シュエケ邸（旧ハンセル邸、1896、ハンセル設計）、門 兆鴻邸（旧ディフレスセン邸、1895、ハンセル設計）、ボリビア領事館、神戸華僑総会（旧ゲンセン邸、1909）、モッシュ邸（東棟及び西棟）、旧スタドニック邸、チャン邸（1892）、旧グラシアニ邸（1908）、山田邸、丹生邸、旧フェレ邸（ベンの家）、マリニン・フタレフ邸、高木・山口邸、旧キャセリン・アンダーセン邸（前行吉女子学園セミナーハウス、1899、写真18）。

3.2.4, 外壁保存

建物の外観を保存する目的で、建物の外壁あるいはその一部を残し、建物内部は全く別の構造体で作り直す手法である。この手法による典型的な例としては、神戸地方裁判所（中央区橘通、1904年竣工、1990年に改築、写真30）がある。1990年の改修の際に外壁の3面を残し、内部は6層の新しい建物となっている。当初の建物の設計は明治期に主に関西で活躍した河合浩蔵（1856-1934）による。神戸においては、前述の海岸ビルディング、旧奥平野浄水場急速濾過地、旧小寺家厩舎の他にも、つぎに示す海岸ビル、毎日新聞神戸ビルも彼の設計による。

海岸ビル（旧三井物産神戸支店、中央区海岸通、1918、写真19）も外壁保存の典型的な例である。

大林組神戸支店（旧第一銀行神戸支店、中央区栄町通、1908、辰野・葛西建築事務所設計、写真31）として使われていた建物は、震災による被害が大きく現在、外壁を地下鉄海岸線栄町駅の入口として利用するための工事が進められている。

毎日新聞神戸ビル（中央区栄町通、1925、河合浩蔵設計）には旧横浜海上火災保険神戸支店の一階部分の外壁が復元されている。部分的ではあるが、これも外壁保存といえる。

3.2.5, 外観保存

外観保存とは改築の際に、古い建物のかかなりの部分を新しい建物に取り込んでしまおうとする保存手法である。この手法による神戸市内の近代洋風建築の保存の例は、神戸税関本館（中央区新港町、1927、大蔵省営繕課設計）がこれにあたる。これは、1996年から3年の歳月をかけて保存のための改築工事が行われ、1999年3月に完成した。その結果、建物中央部をくり貫いて中庭とし、一部はアトリウムとして空間を確保している。^{注7}

3.2.6, エレメント保存

旧建物の一部をモニュメントとして残す手法で、神戸市内で見掛けるのは例えば、新和ビル（中央区栄通、1993）の壁面に旧明治火災保険神戸支店のレリーフが残されている。東京三菱銀行神戸支店（中央区播磨町）の前の角地には旧建物（三菱銀行三宮支店（1929））の柱頭部分が保存されている。その他にも旧神戸居留地十五番館のまわりには当初の煉瓦造の下水道管（写真4）や煉瓦塀が残されているし、旧居留地108番（中央区伊藤町）に建てられていた（株）近藤商店の商館の窓枠も残されている。

3.2.7, 移築保存

移築保存は、木造住宅など移築が可能な建築物に対象が限定される。神戸市の場合、山手地区を中心に分布している洋風住宅にその例を見ることができる。神戸市内にあったものを神戸市内に移築したものとしては、例えば、うろこの家^{注8}、旧ハンター邸^{注9}、旧ハッサム邸（ハンセル設計）^{注10}、孫中山記念館^{注11}（移情閣）などがあげられる。以上は神戸市内に移築されたものがあるが、神戸市外に移築された洋館住宅もある。前・住友修史室田辺貞吉邸^{注12}（現・武田薬品迎賓資料館、1908、野口孫市・日高ゆたか設計）、前ブルム邸（1887年？）^{注13}、大井牛肉店（1887）^{注14}、旧ワサ・ダウン邸^{注15}（1905）などがその例である。

^{注7} 『第41回 建築業協会賞作品集』建築業協会(2000)を参照。

^{注8} 1901年(M34)に旧居留地内にあったものを、1922年(T11)に中央区北野町に移築された。

^{注9} 北野町から灘区青谷町王子公園内に移築された。

^{注10} 1902年(M35)に北野町に建てられたものを、1960年(S35)に中央区中山手通相楽園内に移築された。

^{注11} 東舞子町から垂水区舞子公園内に移築された。

^{注12} 東灘区住吉町から京都市左京区に移築された。

^{注13} 山本通から岐阜県犬山市にある「博物館明治村」内に移築され、「神戸山手西洋人住居」として保存されている。

^{注14} 前ブルム邸同様、博物館明治村内に移築保存されている。

^{注15} 北野町から高松市屋島中町にある「四国民家博物館・四国村」に移築され、「喫茶・異人館」となっている。

3.2.8, 復元保存

復元保存とは、なんらかの理由で一度取り壊された建築物と全く同じものを復元し、保存する手法である。その場合、必ずしも以前あった場所に復元されるとは限らず、別の場所に復元されることも多い。神戸市で復元保存としては、旧神戸居留地十五番館、神戸市立王子図書館分館（旧関西学院チャペル、灘区王子町、1904、ヴィグノール設計、写真32）があげられる。

その他に保存手法として、イメージ保存や内部保存（インテリア保存）などが考えられるが、神戸市内にそれに該当する近代洋風建築は、今のところ見当たらない。

§ 4 おわりに

最初にも述べたように、神戸市は震災後の都市機能回復（震災復興事業）が優先され、北野・山本地区の伝統的建造物群保存地区の洋館建築の修復工事をはじめ、近代洋風建築の保存事業は震災復興事業の一環として行われてきた。今後は旧居留地連絡協議会などの民間団体及び建物所有企業などと協力して、旧居留地地区の近代洋風建築の保存に努めることを期待する。

近代洋風建築の保存の状況は、常に変化しており、また本稿の調査内容も不備な点が多いので、今後とも機会のある毎に補足・修正する必要がある。

最後に本稿をまとめるにあたり、ご協力いただいた神戸市教育委員会事務局社会教育部文化財課に対し、ここに記して感謝の意を表します。

〈参考文献及び参考資料〉

- 1) 「近代建築調査委員会報告14・居留地建築特集」『建築と社会』第42集2月号(1961) 所収 pp21-49
- 2) 坂本勝比古「神戸における洋館建築の特色とその変遷」『建築と社会』第42集2月号(1961) 所収 pp55-62
- 3) 島田勝次「居留地と神戸」『建築と社会』第42集2月号(1961) 所収 pp77-80
- 4) 新建築編集部編『建築ガイドブック 西日本編』新建築社(1978)
- 5) 日本建築学会編『日本近代建築総覧—各地に遺る明治大正昭和の建物—』技法堂出版(1980)
- 6) 神戸都市問題研究所編『都市研究報告第6号・神戸／海上文化都市への構図』勁草書房(1981)
- 7) 石田潤一郎他『近代建築ガイドブック [関西編]』鹿島出版会(1984)
- 8) 『神戸市内の近代洋風建築』神戸市教育委員会(1984)
- 9) 『角川日本地名大辞典 28 兵庫県』角川書店(1988)
- 10) 「北野・山本地区景観ガイドライン／神戸らしい都市景観をめざして」神戸市都市計画局・神戸市教育委員会(1989)
- 11) 神戸市教育委員会・神戸近代洋風建築研究会編『神戸の近代洋風建築』神戸市(1990)
- 12) アーキテクチュア・フェアKOBE 記念出版編集委員会編『神戸のまちと建築—Yesterday, Today and Tomorrow—』神戸市(1993)
- 13) 「[特集] 近代建築の保存・再生／その現状と課題」『建築雑誌』Vol.100 No.1365 (1994年11月)
- 14) 日本建築学会近畿支部環境保全部会『近代建築物の保存と再生』都市文化社(1993)
- 15) 大河直躬編『都市の歴史とまちづくり』学芸出版社(1995)
- 16) 光井渉「北野町山本通地区「異人館街」の被害状況」『建築雑誌』Vol.110 No.1371 (1995年4月) pp10-12
- 17) 大和 智「兵庫県南部地震による国宝・重要文化財建造物の被害状況と今後の課題」『建築雑誌』Vol.110 No.1372 (1995年5月) pp7-9
- 18) 足立裕司「近・現代建築の被災状況と今後の課題」『建築雑誌』Vol.110 No.1372 (1995年5月) pp9-12
- 19) 谷 直樹「歴史的建造物の被害」『建築雑誌』Vol.110 No.1377 (1995年9月)
- 20) 石田潤一郎『関西の近代建築—ウォートルスから村野藤吾まで—』中央公論美術出版(1996)
- 21) 機関紙出版編集室『近代名建築コースガイド [神戸・兵庫編]』日本機関紙出版センター(1996)
- 22) 内海晶夫・石丸紀興「阪神大震災による神戸市近代建築物の被害とその後の対応に関する研究—その2 三宮周辺について—」日本建築学会中国支部研究報告集第20巻(1997年3月)
- 23) 坂本勝比古「歴史的建造物の保存への取り組み」『建築雑誌』Vol.111 No.1383 (1996年1月)
- 24) 大河直躬編『歴史的遺産の保存・活用とまちづくり』学芸出版社(1997)
- 25) 「阪神間モダニズム展」実行委員会『阪神間モダニズム』淡交社(1997)
- 26) 和田克己『むかしの神戸』神戸新聞総合出版センター(1997)
- 27) 建築修復学会編『建築医たちの神戸北野』中央公論美術出版(1998)
- 28) 加藤邦男編『阪神・淡路大震災と歴史的建造物』思文閣出版(1998)
- 29) 神戸市教育委員会編『住まい学大系091／異人館復興—神戸市伝統的建造物修復記録—』住まいの図書館出版局(1998)
- 30) 加藤邦男編『阪神・淡路大震災と歴史的建造物』思文閣出版(1998)
- 31) 安田泰幸『神戸・街ものがたり』駿台曜曜社(1998)
- 32) 日本建築学会近代建築小委員会「日本近代建築総覧(新版)追補兵庫県(その1)」『建築雑誌』Vol.113 No.1420 (1998年3月号) 所収 (pp.54-57)
- 33) 「KOBE異人館」神戸市教育委員会(1998)
- 34) 『建築MAP大阪／神戸』TOTO出版(1999)
- 35) 清水真一他編『歴史ある建物の活かし方』学芸出版社(1999)
- 36) 「神戸旧居留地ガイドマップ」旧居留地連絡協議会(1999年4月)
- 37) 「市民のグラフ「こうべ」」8月号 神戸市広報課(1999年7月)
- 38) 中村哲夫『日本列島西洋館の旅』コクサイクリエイツ(2000)
- 39) 『第41回 建築業協会賞作品集』建築業協会(2000)
- 40) 「出かけてみよう・神戸の近代建築、カフェに变身」『日本経済新聞』2001年4月14日付



写真1 うろこの家

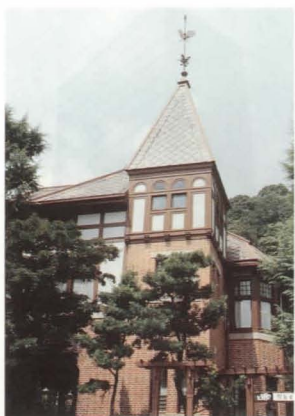


写真2 風見鶏の館 (旧トーマス邸)



写真3 甲南漬資料館 (旧高嶋平介邸)



写真4 旧神戸居留地十五番館の下水道管



写真5 復元された旧神戸居留地十五番館



写真6 震災前の神戸栄光教会



写真7 旧異人館長屋 (洋館長屋)



写真8 萌黄の館 (旧シャープ邸)



写真9 東天閣



写真10 王子公園内にある旧ハンター邸



写真11 旧小寺家厩舎



写真12 相楽園内に移築された旧ハッサム邸



写真13 神戸市水の科学博物館



写真14 商船三井ビル



写真15 神戸郵船ビル



写真16 海岸ビルディング



写真17 神戸海洋気象台旧館



写真18 旧キャセリン・アンダーセン邸



写真19 海岸ビル



写真20 神港ビルディング



写真21 神戸住友ビル



写真22 神戸市御影公会堂



写真23 神戸救済会病院



写真24 煉瓦倉庫レストラン



写真25 ファミリア西館商品管理部

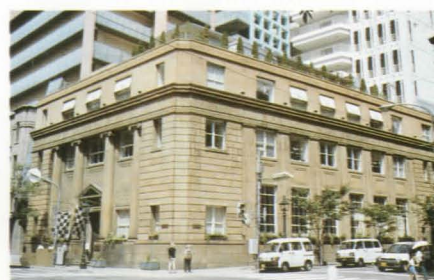


写真26 大丸南第一別館・リブubuウェスト



写真27 神戸市立博物館



写真28 兵庫県公館



写真29 旧パナマ領事館(ヒルトン邸)



写真30 神戸地方裁判所



写真31 地下鉄海岸線栄町駅(前大林組神戸支店)



写真32 神戸市立王子図書館分館(旧関西学院チャペル)

表 1 - 1 神戸市内に現存する近代洋風建築

No.	総覧	建物名称	建築当初の名称	種別・用途	所在地	竣工年	設計者	施工者	構造概要	保存	備考
1	35009	岡田邸 (岡本邸)	：	住宅	東灘区本山6-15-6	S初	不詳	不詳	W2	A	
2	35017	新井邸 (藤田邸)	：	住宅	東灘区本山北町6-15-6	T末	不詳	不詳	W2	A	
3	35018	乾豊彦邸		住宅	東灘区住吉山手5-1-30	1936	渡辺節	竹中工務店	RC+W2	A	
4	35019	小倉捨次郎邸		住宅	東灘区住吉町井出口	1925	笹川慎一	藤木工務店	W2	A	
5	35021	小寺敬一郎		住宅	東灘区住吉山手4-9-4	1930	ヴォーリス建築事務所	竹中工務店	RC3	A	
6	35023	白鶴美術館		美術館	東灘区住吉山手6-1-1	1934	竹中工務店 (鷺尾九郎)	RC2	RC3	A	
7	35034	甲南病院		病院	東灘区鴨子ヶ原1-5-16	1934	木下建築事務所	竹中工務店	RC5,B1	A	
8	35035	神戸市立赤塚山高校		学校	東灘区住吉山手	1938	文部省	不詳	RC3		☆
9	35053	阿部藤造邸		住宅	東灘区岡本	1927	笹川慎一	藤木工務店	W2		
10	35059	木水肇邸		住宅	東灘区御影町御影城前1472	1926	小川安一郎	不詳	W2		
11	35060	大林芳郎邸		住宅	東灘区御影山手1-17-1	1932	安井武雄・大林組設計部	大林組	RC3,B	A	
12	35062	甲南漬資料館		住宅	東灘区御影山手1-17-1	1931	清水栄二	不詳	RC2	B	
13	35063	神戸市立御影公会堂		公会堂	東灘区御影塚町4-4-7	1933	清水栄二	大林組	RC3,B1	A	
14	35065	菊正宗本社		事務所	東灘区御影石町4-4-1	1925	宮崎工務店	宮崎工務店	RC2		
15	35082	私立灘高校		学校	東灘区御影本町1-7	1929	宋建築事務所	宮崎工務店	RC3		
16	35394	阪口邸		住宅	東灘区魚崎北町	1923	不詳	不詳	W2	A	
17	35395	富永邸		住宅	東灘区深江南町	1923	ベイリー	不詳	W2	A	
18	35396	古澤邸		住宅	東灘区深江南町	1925	L.ラデュエンスキー	不詳	W2	A	
19	35397	ベーカー邸		住宅	東灘区深江南町	1923	不詳	不詳	W2	A	
20	35088	神戸市立魚崎小学校		学校	東灘区魚崎中町4-10-8	1929	清水栄二	不詳	RC3	A	
21	35093	神戸大学経済経営研究所		記念館	灘区六甲台町2-1	1933	文部省	大林組	RC	B	
22	35094	神戸大学法・経営・経済学部本館		学校	灘区六甲台町2-1	1933	文部省	大林組	RC4	A	
23	35109	兵庫県立神戸高校		学校	灘区城の大通1	1938	兵庫県営繕課	中島組	RC3		
24	35115	旧ハントナー邸		住宅	灘区青谷町王子公園内	1889	A.N.ハンセル (推定)	不詳	木骨煉瓦2	H	★
25	35116	王子市民ギャラリー		礼拝堂	灘区王子町3	1904	ヴィンゲノール	不詳	煉1	I	
26	35120	大正銀行灘支店		銀行	灘区鹿ノ下通3	1936	不詳	不詳	RC2		
27	35122	J R 灘駅		駅舎	灘区岩屋北町7-3-1	1934	鉄道省	不詳	W1	A	
28	35398	神戸大学付属図書館		図書館	灘区六甲台町2-1	1933	文部省	大林組	RC2	A	
29	35399	神戸大学講堂		講堂	灘区六甲台町2-1	1933	文部省	大林組	RC2	A	
30	35400	阪急電鉄六甲変電所		変電所	灘区六甲台町2-1	不詳	不詳	不詳	煉1	A	
31	35401	六甲ホテル		ホテル	灘区宮山町2-2	1930頃	不詳	不詳	RC2	A	
32	35402	旧勝田邸 (天理教兵庫教務支庁)		住宅	灘区六甲山町南六甲1034	1922	武田五一	金田組	W2		
33	35127	旧池永孟邸 (劉外科医院)		住宅	灘区城の大通2-8	1938	小川安一郎	藤木工務店	RC2		
34	35128	旧池永美術館 (前市立南蛮美術館)		美術館	中央区野崎通4	1938	小川安一郎	藤木工務店	RC3		
35	35138	旧神戸ユニオン教会		教会	中央区熊内町1-8-21	1938	小川安一郎	藤木工務店	RC2,一部3	B	
36	35140	J R 三宮駅		駅舎	中央区生田町4-6	1929	ヴォーリス建築事務所	竹中工務店	SRC2	A	
37	35142	そごう百貨店		デパート	中央区布引町4	1932	鉄道省	大林組	SRC7	A	
38	35148	農省省神戸農林規格検査所 (旧館)		研究所	中央区小野浜通8	1933	久野節建築事務所	竹中工務店	RC4	A	
39	35149	農省省神戸農林規格検査所 (新館)		研究所	中央区小野浜通1-4	1932	神戸市営繕課	銭高組	SRC4,B1	A	
40		イタリア館		住宅	中央区北野町1-6-10	不詳	不詳	不詳	W2		□
41	35403	旧フエデセック邸 (英国館)		住宅	中央区北野町2-3-16	1909	不詳	不詳	W2		□
42	35404	ホワイイトハウス		官舎	中央区北野町2-3-16	1898	不詳	不詳	W2		□
43	35405	旧パナマ領事館 (ヒルトン邸)		住宅	中央区北野町2-9-6	1897	不詳	不詳	W1	C	□
44	35406	レイン邸		住宅	中央区北野町2-10-7	1897	不詳	不詳	W2	H・C	□
45		旧トーマセン邸		住宅	中央区北野町2-12-12	1900	不詳	不詳	W2	C	□
46	35407	うろこの家		住宅	中央区北野町2-13-15	M末	不詳	不詳	W2		□
47		旧フエレ邸 (ベンの家)		住宅	中央区北野町2-20-4	1922	不詳	不詳	W2	H・C	☆
48		寺西邸		住宅	中央区北野町2-3-21	不詳	不詳	不詳	W2	C	□
49	35155	展望塔のある家 (前Ocks邸)		住宅	中央区北野町2-18-6	不詳	不詳	不詳	W2		
50	35156	呉邸		住宅	中央区北野町2	不詳	不詳	不詳	W2		□
51	35157	チャーン邸 (前D.サッスーン邸)		住宅	中央区北野町2-16-1	1892	不詳	不詳	W2	C	
52	35158	バジャヤージ邸 (ベルシヤ美術館)		住宅	中央区北野町2-15-12	不詳	不詳	不詳	W2		□
53	35159	旧異人館長屋 (洋館長屋)		住宅	中央区北野町2-3-18	1908	不詳	不詳	W2		□
54	35160	Thordsen邸		住宅	中央区北野町2	1919	不詳	不詳	W2		□
55	35161	旧スタンフイーールド邸 (ハンボル)		住宅	中央区北野町2-10-24	不詳	不詳	不詳	W2	C	
56	35162	ラインの館		住宅	中央区北野町2-10-24	1915	不詳	不詳	W2		□
57	35163	H.E.オーバライイン邸 (ムーア邸)		住宅	中央区北野町2-9-3	1899	不詳	不詳	W2	C	□
58	35164	風見鶏の館		住宅	中央区北野町3-13-3	1909	デ・ラランデ	不詳	W2	★	★
59	35165	萌黄の館 (前小林秀雄邸)		住宅	中央区北野町3-10-11	1903	A.N.ハンセル (推定)	不詳	W2	C	★
60	35167	山田皓一郎邸		住宅	中央区北野町3-9-15	1907	不詳	不詳	W2	C	□
61	35408	片桐・山本邸		住宅	中央区北野町3-9-15	不詳	不詳	不詳	W2	C	□
62		モッシュ邸東棟		住宅	中央区北野町3-9-19	不詳	不詳	不詳	W2	C	□
63		モッシュ邸西棟		住宅	中央区北野町3-9-19	不詳	不詳	不詳	W2	C	□
64	35409	仁生邸		住宅	中央区北野町4-4-7	不詳	不詳	不詳	W2		□
65	35168	林邸		住宅	中央区北野町4-11-7	1900	不詳	不詳	W2		□
66	35169	マリニン・フタレフ邸		住宅	中央区北野町4-11-7	1911	不詳	不詳	W2	C	□
67	35170	鄭邸		住宅	中央区北野町4-11-23	不詳	不詳	不詳	W2	C	□
68	35171	神戸華僑総会		住宅	中央区北野町4-3-4	1909	不詳	不詳	W2	C	□
69		丹生邸		領事館	中央区北野町4-2-1	1906	不詳	不詳	W2	C	□
70	35172	旧グラシアニ邸 (レストラン・ケラジニ)		住宅	中央区北野町4-8-1	1908	不詳	不詳	W2	C	□
71	35173	ボリビア領事館		住宅	中央区北野町4-7-7	不詳	不詳	不詳	W2	C	□
72	35410	旧スタッドニック邸 (ハイジホフ)		住宅	中央区山本通2-9-19	不詳	不詳	不詳	W2	C	□
73	35176	シュエケ邸		住宅	中央区山本通3-5-17	1896	A.N.ハンセル	不詳	W2	C	□
74	35177	門兆鴻邸		住宅	中央区山本通3-5-17	1895	A.N.ハンセル	不詳	W2	C	□
75	35178	旧キャセリン・アングダーセン邸 (前行吉女子学園Hナース)		住宅	中央区山本通3-5-19	1899	不詳	不詳	W2	C	□
76	35179	東天閣		住宅	中央区山本通3-5-5	1899	不詳	不詳	W2	C	□
77	35181	神戸市立看護専門学校		学校	中央区山本通3-14-15	1894	ガリバー (推定)	大林組	RC5	B	
78	35184	中山手カトリック教会		教会	中央区山本通3-19	1928	兵庫県営繕課	竹中工務店	RC1,塔屋付	A	
79	35185	神戸回教寺院		寺院	中央区中山手通2-25	1922	スワガー建築事務所	竹中工務店	RC3,B1	A	
80	35186	神戸韓国領事館		事務所	中央区中山手通2-21-5	1935	スワガー建築事務所	不詳	RC3	B	
81	35187	旧神戸市立北野小学校		学校	中央区中山手通2-21-5	1929	置塩章建築事務所	清水組	RC3	A	
82	35192	旧小寺家厩舎		厩舎	中央区中山手通3-1	1931	神戸市営繕課	不詳	煉1+W2		★
83	35193	旧ハッサム邸		住宅	中央区中山手通相楽園内	1907	河合浩蔵	不詳	W2	H	★
84	35195	神戸掖済会病院		病院	中央区中山手通相楽園内	1902	A.N.ハンセル	大林組	RC4,B	A	
85	35196	神戸海洋気象台 (旧館)		気象台	中央区中山手通6-2-5	1931	原料建築事務所	竹中組	煉1,B1	A	
86	35196	神戸海洋気象台 (新館)		気象台	中央区中山手通7-14	1920	渡辺節建築事務所	竹中工務店	RC3,B	A	
87	35200	兵庫県公館		庁舎	中央区中山手通7-14	1938	堀口捨巳	同和組	石・煉2	B・C	
88		西本願寺神戸別院 (モダン寺)		寺院	中央区中山手通4-4	1902	山口半六	不詳	RC4	C	
89					中央区中山手通8-1-1	1929	不詳	不詳			

※総覧の欄の数字は、日本建築学会編『日本近代建築総覧』技報堂出版(1980)に記載のリスト記号を示す。

※備考欄の記号／★：国指定重要文化財、☆：国指定登録文化財、△：県指定文化財、□：市指定伝統的建造物

※保存の欄の記号／A：現状保存、B：再利用保存、C：修復保存、D：外壁保存、E：移築保存、H：移築保存、I：復元保存

表 1 - 2 神戸市内に現存する近代洋風建築(続)

No.	総覧	建物名称	建築当初の名称	種別・用途	所在地	竣工年	設計者	施工者	構造概要	保存	備考
89	35202	日本基督教団神戸組合教会		教会	中央区花隈町9-16	1932	原科建築事務所	大林組	RC3,塔屋付	A	
90	35209	神戸税関本館		庁舎	中央区新港町12-1	1927	大蔵省営繕課	森田福市	RC4,B1,塔屋	E	
91	35212	神戸市立博物館	横浜正金銀行神戸支店	銀行	中央区京町24	1935	桜井建築事務所	竹中工務店	RC3,B1	B・C	☆
92	35215	旧神戸居留地十五番館(前ガッパ本社新館)	アメリカ領事館	領事館	中央区浪花町15	1881	不詳	不詳	木骨煉瓦2	C	★
93	35220	同和火災海上ビル	ナショナル・デパート銀行神戸支店	事務所	中央区明石町19	1935	長谷部・竹腰建築事務所	竹中工務店	RC4	B	
94	35223	大丸南第1別館・リブラプラウエスト	デパート	銀行	中央区明石町38	1929	ヴォーリス建築事務所	竹中工務店	SRC3,B	D	
95	35224	大丸南2号館	新港相互館	事務所	中央区明石町38	不詳	不詳	不詳	RC4	D	
96	35226	日本毛織ビル	チャーターランド銀行神戸支店	事務所	中央区明石町47	1937	竹中工務店	竹中工務店	RC6		
97	35233	新港貿易会館	川崎汽船本社ビル	会館	中央区新港町8	1934	兵庫県	不詳	RC4		
98	35238	チャーターランドビル	大阪商船神戸支店	銀行	中央区海岸通9	1938	J.H.モーガン	大倉土木	RC4	B	
99	35239	神港ビルディング	三井物産神戸支店	事務所	中央区海岸通8	1939	木下建築事務所	竹中工務店	SRC8	A	
100	35240	商船三井ビルディング	日本郵船神戸支店	事務所	中央区海岸通5	1922	渡辺節建築事務所	大林組	SRC7,B	A	
101	35241	海岸ビル	橋本汽船ビル	事務所	中央区海岸通3	1918	河合浩蔵	竹中工務店	煉+RC4	D	
102	35242	神戸郵船ビル	三栄ビル (旧朝日ビル)	事務所	中央区海岸通1-1-1	1918	曾根中条建築事務所	大阪橋本組	鉄骨煉瓦+RC	A	☆
103	35244	三栄ビル (旧朝日ビル)	兼松商店本社	事務所	中央区海岸通2-33	1917	竹中工務店	竹中工務店	RC3		
104	35246	海岸ビルゼング (旧日濠会館)	日本貿易倉庫	事務所	中央区海岸通3-1	1911	河合浩蔵	旗手組	煉3,B1	A	
105	35411	煉瓦倉庫レストラン	湯浅商店	倉庫	中央区東川崎町1-5-5	1897頃	不詳	不詳	煉1	B	
106	35250	神戸住友ビル	第一銀行神戸支店	事務所	中央区栄町通1-1-28	不詳	長谷部・竹腰建築事務所	清水組	RC3	A	
107	35256	杉原産業ビル	銀行	事務所	中央区栄町通3-6-9	不詳	不詳	不詳	煉2	A	
108	35258	岸本産業ビル	銀行	事務所	中央区栄町通3-2	S初	不詳	不詳	RC3	A	
109	35260	地下鉄海岸線栄町駅入口 (前大林組秋坂総合研究所 (前朝日生命保険相互神戸支店))	銀行	事務所	中央区栄町通4-4	1908	辰野・葛西建築事務所	直営	石・煉2	D	
110	35264	ファミリア西館商品管理部	三菱銀行神戸支店	事務所	中央区栄町通5-12	不詳	不詳	不詳	RC4		
111	35272	J R神戸駅	国鉄神戸駅	銀行	中央区相生町1-1-21	1900	曾根達蔵	直営	石・煉2	B	
112	35273	大阪ガス神戸支社	神戸ガスビル	駅舎	中央区相生町2	1931	鉄道省	大倉土木	SRC2	A	
113	35274	神戸地方裁判所	S・ペーカー邸	事務所	中央区相生町5-13-10	1937	渡辺節建築事務所	清水組	煉2,B1	D	
114	35277	みなと異人館	奥平野浄水場急速濾過池	裁判所	中央区橘通2-2	1905	河合浩蔵	不詳	煉1	H	
115	35285	神戸市水の科学博物館	東京倉庫兵庫出張所	住宅	兵庫区楠谷町37-1	1917	河合浩蔵	不詳	煉1	B	☆
116	35287	石川ビル	国鉄兵庫駅	浄水場	兵庫区島上町1-2	1905	曾根達蔵	松本市蔵	煉1		
117	35310	J R兵庫駅	池田尋常小学校	事務所	兵庫区駅南通	1930	鉄道省	銭高組	SRC2	A	
118	35328	神戸市立池田小学校	西尾類蔵邸	学校	長田区池田上町19	1939	神戸市営繕課	不詳	RC3	A	
119	35333	神戸市立千歳小学校	鶴崎平三郎邸	学校	須磨区千歳町2-2-3	1937	神戸市営繕課	不詳	RC3	A	
120	35352	大丸デニースクール須磨	グッゲンハイム邸	住宅	須磨区離宮前町2-9-45	1934	ヴォーリス建築事務所	旗手組	煉+W2,B1	B	
121	35367	室谷邸	ジェネス邸	住宅	須磨区一ノ谷町3-3	1908	野口孫市・小川安一郎	竹中工務店	煉+W3,B1	A	☆
122	35368	鶴崎邸	ジェームス邸	住宅	須磨区潮見台町1-4	不詳	不詳	不詳	煉+W2		
123	35371	萩野邸	市電車庫	住宅	須磨区西須磨	不詳	神戸市営繕課	不詳	煉+W3	A	
124		須磨観光ハウス	ダンロップ工場	旅館	垂水区塩屋町1-1-5	1937	神戸市営繕課	中元庄吉	煉+W2		
125	35372	柏木邸 (金邸)	市電車庫	住宅	垂水区塩屋町3-5	不詳	不詳	不詳	煉+W2	B	
126	35375	竹内油業塩屋寮	ジェームス邸	住宅	垂水区塩屋町	1912	A.N.ハンセル (推定)	不詳	煉+W2	A	
127	35376	山中邸	日下部邸	住宅	垂水区塩屋町小谷270	不詳	不詳	不詳	煉+W2	A	
128	35377	三洋電機望淡閣・井植邸	呉錦堂別邸「移情閣」	住宅	垂水区若宮町2-1-21	1919	不詳	不詳	煉+W2	H	
129	35378	神戸市立若宮小学校		学校	垂水区舞子台2-5-41	1934	竹中工務店 (早良俊夫)	竹中工務店	RC2,B1		
130	35379	山田邸 (異人館倶楽部)	武藤山治邸	住宅	垂水区東舞子町1-15	1938	神戸市営繕課	不詳	煉2,B1	B	
131	35381	三洋電機望淡閣・井植邸	呉錦堂別邸「移情閣」	住宅	垂水区東舞子町4-51	1915	不詳	不詳	煉2,B1	H	
132		神戸市立若宮小学校		学校		1907	横河工務所 (大熊喜邦)	竹中工務店	煉2,B1		
133	35388	舞子ホテル		住宅		1918	横山栄吉	不詳	木骨煉瓦3	H	△
134	35390	鐘紡舞子倶楽部		住宅							
135	35391	孫中山記念館		住宅							

※総覧の欄の数字は、日本建築学会編『日本近代建築総覧』技報堂出版(1980)に記載のリスト記号を示す。

※備考欄の記号／★：国指定重要文化財、☆：国指定登録文化財、△：県指定文化財、□：市指定伝統的建造物

※保存の欄の記号／A：現状保存、B：再利用保存、C：修復保存、D：外壁保存、E：移築保存、F：復元保存

表 2 震災で倒壊、または震災後に取り壊された神戸市内の主な近代洋風建築

No.	総覧	建物名称	建築当初の名称	種別・用途	所在地	竣工年	設計者	施工者	構造概要	解体年
1	35039	小川嘉治邸	松岡邸	住宅	東灘区住吉本町1-22-4	1921	宋兵蔵	堀口工務店	W2	
2	35049	甲南大学附属建物		学校	東灘区岡本9	不詳	不詳	不詳		
3	35055	神戸市立本山第二小学校		学校	東灘区西岡本1-3-1	1933	不詳	不詳	RC2	
4	35067	神戸市立本庄小学校	樽丸問屋谷口商店	学校	東灘区青木町44	1937	不詳	不詳	RC3	
5	35076	谷口商店		商店	東灘区住吉南町5-5-11	1934	古塚建築事務所	不詳	木骨ｺｺ2	1995
6	35078	高木邸		住宅	東灘区魚崎北町4-8-15	不詳	不詳	不詳	W2	1995
7	35079	松元邦彦邸		住宅	東灘区魚崎北町4-8-16	不詳	不詳	不詳	W2	1995
8	35080	山中邸		住宅	東灘区魚崎北町4-8-17	不詳	不詳	不詳	W2	1995
9		六甲23 (ヴァントワ)		工場	灘区新在家南町			煉		
10	35108	神戸市立成徳小学校	市電車庫	学校	灘区備後町1-3	1932	神戸市営繕課	不詳	RC3	1995
11	35123	市バス車庫	市電車庫	車庫	中央区熊田橋通1	不詳	不詳	不詳	煉1	1995
12	35137	住友ゴム工場	ダンロップ工場	工場	中央区筒井通1	不詳	レーモンド	不詳	RC3	1995
13	35150	神戸ビル		事務所	中央区磯辺通	不詳	不詳	不詳	RC5	1995
14	35153	旧フロイドリープ邸 (前ジャーマン・カー-杜宅)		住宅	中央区北野町1	1907	不詳	不詳	W2	1996
15	35199	日本キリスト教団神戸栄光教会		教会	中央区下山手通4-16	1924	曾根中条建築事務所	大阪橋本組	煉3,B1	1995
16	35204	下山手カトリック教会		教会	中央区下山手通7-17	1910	不詳	不詳	煉1	
17		神戸雅叙園ホテル洋館		ホテル	中央区下山手通	不詳	不詳	不詳		
18		神明倉庫		倉庫	中央区海岸通6	不詳	不詳	不詳		
19	35208	阪急会館	内田汽船本社	駅舎・劇場	中央区加納町4-2-1	1936	阿部美樹志	竹中工務店	SRC4,B	1995
20	35218	大興ビル	明治海運ビル	事務所	中央区播磨町45	1919	設楽建築事務所	鴻池組	RC3,B	1995
21	35222	明海ビルゼング	川崎銀行本店	事務所	中央区明石町32	1921	竹中工務店 (藤井厚二)	竹中工務店	RC8	1995
22	35227	第一勧業銀行神戸支店 (旧三井銀行)	村井銀行神戸支店	銀行	中央区西町35	1919	片岡建築事務所	清水組	RC5	1995
23	35252	日産汽船ビル	山口銀行神戸支店	銀行	中央区栄町通2-40	1920	吉武長一	大阪橋本組	RC6	1995
24	35254	三和銀行神戸支店	三井銀行神戸支店	銀行	中央区栄町通2-50	1923	河合浩蔵	竹中工務店	RC5	1995
25	35255	第一勧業銀行神戸支店	三井銀行神戸支店	銀行	中央区栄町通3-6	1916	辰野宇平治	竹中工務店	RC2	
26	35266	柴田音吉商店		商店	中央区元町通4-88	1922前	不詳	煉3	煉3	1995
27	38282	神戸市立中央図書館	神戸市立神港中学校	図書館	中央区楠町7-2	1921	竹中工務店	竹中工務店	RC2	1996
28	35298	神戸市立神港高校	住友銀行兵庫支店	学校	兵庫区会下山町3-38	1921	神戸市営繕課	不詳	RC3	1995
29	35308	黒田食品倉庫		銀行	兵庫区七宮町1-6	1915	住友総本店営繕課	不詳	RC1	1995
30	35335	秋山邸		住宅	長田区大谷町3-40	不詳	不詳	不詳	W2	
31	35338	ビオフェルミン製薬		住宅	長田区二番町2-10	1924	山田武輔	不詳	W2	1996
32	35340	増田製粉事務所		事務所	長田区梅ヶ番町	1933	置塩建築事務所	清水組	RC2	1995
33	35345	神戸市立真野小学校		学校	長田区苅藻通3-4	不詳	神戸市営繕課	不詳	RC3	1996

※総覧の欄の数字は、日本建築学会編『日本近代建築総覧』技報堂出版(1980)に記載のリスト記号を示す。

表3 震災以前に取り壊された神戸市内の主な近代洋風建築

No.	総覧	建物名称	建築当初の名称	種別・用途	所在地	竣工年	設計者	施工者	構造概要	保存	解体年
1	35027	住吉クラブ		会館	東灘区住吉		不詳	不詳	W2		
2	35057	神戸市立立本山第一小学校		学校	東灘区本山町田辺	1927	不詳	不詳	RC3		
3	35064	神戸市立御影小学校		学校	東灘区御影石町3-1	1931	不詳	中島組	RC3		
4	35066	神戸市細胞診センター	御影町役場	役場	東灘区御影本町6-5-2	1924	清水栄二	不詳	RC2		
5	35092	甲南アパート		アパート	東灘区甲南町4	不詳	不詳	不詳	W2		
6	35103	神戸市立六甲小学校		学校	灘区八幡町4-4	1927	不詳	不詳	RC3		
7	35106	カデ・イデア・ミズケル	カナダ学校寄宿舎	学校	灘区長峰台2-3	1933	ヴォーリズ建築事務所	竹中工務店	RC3		
8	35114	神戸市立摩耶小学校		学校	灘区畑原通4-1-1	1929	不詳	不詳	RC3		
9	35118	神戸市立福住小学校		学校	灘区福住通7-1-1	1933	神戸市営繕課	不詳	RC3		
10	35119	神戸市立榎田小学校		学校	灘区岸地通4-2-1	1927	神戸市営繕課	不詳	RC3		
11	35125	神戸大丸舎監の家		住宅	中央区竜池通4	1931	村野藤吾	不詳	W2		
12	35132	神戸市立真合中学校	神戸市立野崎小学校	学校	中央区野崎通8	1921	不詳	不詳	RC3		
13	35134	神戸市立宮本小学校		学校	中央区宮本通2-1	1926	不詳	不詳	RC3		
14	35136	神戸市立吾妻小学校		学校	中央区吾妻通4-3	1922	不詳	不詳	RC3		
15	35152	白川邸	N.Y.シティ銀行社宅	住宅	中央区北野町1-2-11	1931	ヴォーリズ建築事務所	不詳	W2		
16	35166	H.ハンセン邸	マカルビン邸	住宅	中央区北野町3-83	不詳	不詳	不詳	W2		
17	35182	宗教法人アレズ・デ・リアン・ジョン		住宅	中央区山本通4-20	1894	不詳	不詳	W2		
18	35190	神戸市立諏訪山小学校		学校	中央区中山手通	1921	神戸市営繕課	不詳	RC3		
19	35191	神戸市立山手小学校		学校	中央区中山手通4-113	1921	神戸市営繕課	不詳	RC3		
20	35194	神戸山手女子短大2号館	頌栄幼稚園	幼稚園	中央区中山手通6-3	1931	ヴォーリズ建築事務所	竹中工務店	W2		
21	35201	兵庫県警察本部		庁舎	中央区下山手通5-38	1931	兵庫県営繕課	大阪橋本組	RC4		
22	35205	別格別院善福寺本堂	浄土真宗西本願寺神戸別院	寺院	中央区下山手通8-1	1929	葛野建築事務所	姫路中島組	RC3		
23	35206	神戸市立神戸小学校		学校	中央区北長狭通4-1	1922	神戸市営繕課	不詳	RC3		
24	35207	神戸市立神戸中学校		学校	中央区北長狭通4-30	1919	神戸市営繕課	不詳	RC3		
25	35210	生田警察署	三宮警察署	庁舎	中央区三宮町1-3	1924	兵庫県営繕課 (置塩章)	神戸中島組	RC4,B1		
26	35213	クレセントビル		事務所	中央区京町72	1921	J.H.モーガン	不詳	RC6		1977
27	35214	山下新日本汽船神戸支店	ジ・エー・イン・マゼン商会	事務所	中央区京町83	1905頃	A.N.ハンセル	不詳	煉2		
28	35216	太陽神戸銀行本店	岡崎銀行総本店岡崎ビル	銀行	中央区浪花町56	1933	長谷部・竹腰建築事務所	不詳	煉2		
29	35217	太陽神戸銀行分館	大同貿易ビル	事務所	中央区浪花町56	1937	長谷部・竹腰建築事務所	大林組	RC4		
30	35219	朝日会館	神戸証券取引所	取引所	中央区播磨町51	1934	渡辺節建築事務所	清水組	SRC5		
31	35221	堀田ビル		事務所	中央区明石町	不詳	不詳	清水組	RC4		
32	35225	三菱銀行神戸支店	三菱銀行三宮支店	銀行	中央区明石町46	1929	三菱地所部	竹中工務店	RC3		
33	35236	旧神戸商工会議所		事務所	中央区新港町17	1929	古宇田実・原科建築事務所	大阪橋本組	RC5		1986
34		デ・ラ・カンパ商会			中央区海岸通	1895	A.N.ハンセル	高津柳太郎	煉2		1945
35		香港上海銀行神戸支店			中央区海岸通	1902	A.N.ハンセル	小池岩吉	煉+RC3		1945
36		オリエンタル・ホテル		ホテル	中央区海岸通	1907	A.N.ハンセル	不詳	煉3		
37		ドイツ領事館	不詳	領事館	中央区東町	1901	A.N.ハンセル	高津柳太郎	煉2		1945
38		シーメンス・インスティテュート		会館	中央区	明治初	不詳	不詳	RC3		1945
39		クラブ・コンコルディア		会館	中央区	1896	A.N.ハンセル	不詳	RC3		1945
40	35249	富士銀行神戸支店	安田銀行神戸支店	銀行	中央区栄町通1-5	1926	安田銀行営繕課	清水組	RC2		
41	35251	安田火災海上ビル	東京火災保険神戸支店	事務所	中央区栄町通2-5-2	1933	渡辺仁建築事務所	竹中工務店	SRC4,B		
42	35253	神栄信用金庫栄町支店	日本海上火災神戸支店	事務所	中央区栄町通2-46	1920	宋建築事務所	竹中工務店	RC3		
43	35257	安田信託銀行ビル	横浜正金銀行神戸支店	銀行	中央区栄町通3-3-18	1919	長野宇平治	竹中工務店	RC+煉3,B1		
44	35259	毎日新聞社神戸ビル	横浜海上火災保険神戸支店	事務所	中央区栄町通4-3	1925	河合浩蔵	大林組	RC3		D
45	35261	同和第二ビル (新和ビル)	明治火災保険神戸支店	事務所	中央区栄町通4-1	1917	横河工務所	清水組	煉+RC3		
46	35267	日本火災海上神戸支店		事務所	中央区栄町通4-2	1915	横河工務所	清水組	煉+RC3		
47	35268	アストロブック		店舗	中央区元町通5	不詳	不詳	不詳	煉3		
48	35271	三越神戸店		デパート	中央区元町通6-2	1927	横河工務所	大阪橋本組	RC6		
49	35275	神戸市立東川崎小学校	神戸市庁舎	学校	中央区東川崎町5-15	1939	神戸市営繕課	不詳	RC3		
50	35276	神戸地方検察庁 (県警交通部)		庁舎	中央区橘通1-4	1909	秋吉金徳	直営	RC2,B1		
51	35278	神戸市立橘小学校		学校	中央区上橘通1-2	1921	神戸市営繕課	不詳	RC3		
52	35280	神戸医師会館		会館	中央区楠町3	1930	置塩章建築事務所	不詳	RC3,B1		
53	35281	神戸市立橘中学校		学校	中央区楠町5-10	1921	神戸市営繕課	不詳	RC3		
54	35283	神戸大学医学部	県立神戸病院	病院	中央区楠町7-12	1930	兵庫県営繕課	清水組	RC4		
55	35284	県立病院ガンセンター	県警察協会病院	病院	中央区楠町7-13	1929	置塩章建築事務所	田中組	RC2		
56	35286	少年鑑別所	神戸証券取引所	取引所	兵庫区下祇園町	1921	原正	竹中工務店	RC2		
57	38288	神戸市立平野小学校		学校	兵庫区雪ノ御所町1	1932	神戸市営繕課	清水組	RC3		
58	35289	神戸市立湊山小学校		学校	兵庫区雪ノ御所町1	1922	神戸市営繕課	不詳	RC3		
59	35292	神戸市立荒田小学校		学校	兵庫区荒田町4-62	1920	神戸市営繕課	不詳	RC3		
60	35293	神戸松竹座		劇場	兵庫区新開地2-6	1930	古宇田実・原科建築事務所	山本工務店	RC3,B1		
61	35294	湊川温泉	三十八銀行湊川支店	保養所	兵庫区新開地1-3	1928	設楽建築事務所	大林組	RC3		
62	35295	幸福相互銀行兵庫支店		銀行	兵庫区新開地2-1	1922	江藤工務店	旗手組	RC6		
63	35299	神戸市立立川池小学校		学校	兵庫区松本通1-1	1936	神戸市営繕課	清水組	RC3		
64	35303	神戸市立大開小学校		学校	兵庫区大開通4-1	1933	神戸市営繕課	不詳	RC3		
65	35305	神戸市立兵庫中学校	神戸市立兵庫小学校	学校	兵庫区永沢町4-30	1923	神戸市営繕課	不詳	RC3		
66	35306	神戸市立兵庫小学校	神戸市立兵庫女子小学校	学校	兵庫区永沢町4-33	1922	神戸市営繕課	不詳	RC3		
67	35307	神戸市立入江小学校		学校	兵庫区西出町149-1	1927	神戸市営繕課	不詳	RC3		
68	35311	神戸税関兵庫鑑視所		庁舎	兵庫区島上町94	不詳	不詳	不詳	RC2		
69	35312	神戸市立中央卸売市場		市場	兵庫区船大工町浜新町	1932	神戸市市場建築係	大倉土木	RC1,2,6		
70	35313	宇都宮組本社	六十五銀行	銀行	兵庫区戸場町27-1	1925	原科建築事務所	大阪橋本組	RC3		
71	35315	萬原物産	三和銀行兵庫支店	銀行	兵庫区小物屋町30	1927	不詳	不詳	RC2		
72	35316	兵庫電話局	神戸中央電話局兵庫分室	局舎	兵庫区入江通3-2	1919	通信省 (山田守?)	不詳	煉2		
73	35318	神戸市立須佐野中学校		学校	兵庫区須佐野通1-7	1930	神戸市営繕課	不詳	RC3		
74	35320	兵庫県立兵庫工業高校	神戸市立川中小学校	学校	兵庫区和田宮通2-1	1933	神戸市営繕課	鴻池組	RC3		
75	35323	武藤山治記念館		記念館	兵庫区吉田町1-1	1935	竹中工務店	竹中工務店	RC1		
76	35325	神戸市立吉田中学校	兵庫県立第三神戸中学校	学校	兵庫区吉田町1-55	1927	神戸市営繕課	不詳	RC2		
77	35332	兵庫県立長田高校		学校	長田区池田谷町2-1	1922	兵庫県営繕課	大林組	RC3		
78	35334	神戸市立蓮池小学校		学校	長田区大谷町1	1926	神戸市営繕課	不詳	RC3		
79	35336	兵庫県立兵庫高校	兵庫県立第二神戸中学校	学校	長田区寺池町1-1	不詳	兵庫県営繕課	不詳	RC3		
80	35337	神戸市交通労働組合	神戸市電気局診療所	診療所	長田区四番町2	1932	不詳	不詳	RC3		
81	35339	神戸市立御蔵小学校		学校	長田区一番町4-1	1931	神戸市営繕課	不詳	RC3		
82	35341	神戸市立神楽小学校	林田警察署	庁舎	長田区神楽通1-3	1923	兵庫県営繕課	不詳	RC3		
83	35343	長田警察署		学校	長田区細田町7-1-34	1922	神戸市営繕課	不詳	RC3		
84	35349	神戸市立真陽小学校		学校	長田区二葉町1-5	1922	神戸市営繕課	不詳	RC3		
85	35354	神戸市立板宿小学校		学校	須磨区菊池町1-1	1933	神戸市営繕課	不詳	RC3		
86	35355	神戸市立東須磨小学校		学校	須磨区堀池町1-2	1925	神戸市営繕課	不詳	RC3		
87	35362	天理教兵神大教会内芳洋図書館	内田信也邸	住宅	須磨区桜木町3-2	1917	宋兵蔵	鴻池組	W3		
88	35384	垂水警察署	四本邸	住宅	垂水区宮本町1	1918	不詳	不詳	W2		
89	35386	兵庫県立商科大学		学校	垂水区高丸星廢台4-3	1931	兵庫県営繕課	大林組	RC3		
90	35387	兵庫県立星陵高校	県立第一神戸商業学校	学校	垂水区高丸星廢台4-3	1932	兵庫県営繕課	大倉土木	RC3		

※総覧の欄の数字は、日本建築学会編『日本近代建築総覧』技報堂出版(1980)に記載のリスト記号を示す。

北九州市の近代洋風建築とその保存方法について

(環境都市工学科) 岡本 二郎
(三井建設) 永見 敦

A Study on Modern Western-style Architecture in Kitakyushu-city and a Proposed Preservation Method

(Department of Civil and Environmental Engineering) Jiro OKAMOTO
(Mitsui Construction) Atushi NAGAMI

Abstract

The aim of this paper is to investigate and analyze existing modern western-style architecture in Kitakyushu-city and preservation method of them. In the case of investigating these cultural assets, we apply a method of classifying them into four kinds of preservation method. In addition to this investigation, we deal with the destruction of valuable architectural heritage in Kitakyushu-city.

Key Words : modern western-style architecture, architectural heritage, preservation method, Kitakyushu-city
近代洋風建築、建築遺産、保存方法、北九州市

§ 1 はじめに

現代日本の都市において、主に明治以降から第二次大戦前までに建てられた近代建築が、建物そのものの老朽化、あるいは経済的・効率的理由や現代の高度な建築設備の要求に対応できないなどの理由、さらに土地及び空間の高度利用の目的により、次々に取り壊されている。このことを否定するものではないが、これらの建物の中には建築様式あるいは建築技術のうえからも貴重なものと考えられるものも含まれている。少なくともそうした建築物についてはその建築学的価値について綿密な調査を行い、そのうえにたった正当な評価が望まれる。

こうした状況の中で多くに貴重な近代洋風建築が残っている都市においては、その保存についてそれぞれの地域性を生かした独自の方法を用いて、諸々の事業に取り組んできた。それらの都市のうち、近代洋風建築の保存事業に積極的に取り組んでいると思われる都市を取り上げ、その都市がどのような取り組み方を行っているかについて考察する。このことは各自治体の今後の近代洋風建築の保存方法の方向性を探るうえにおいて参考になりうるものと考ええる。

本稿では日本の都市における近代洋風建築の保存方法について研究するにあたり、その事例研究として北九州市を取り上げ、北九州市における近代洋風建築の保存の現状とその保存方法について調査し、その結果をもとに考察を加えること、さらに北九州市の近代洋風建築の保存の問題点を探ることを目的としている。

§ 2 北九州市の近代以後の略史について

北九州市の近代洋風建築を探る前に、この項ではその近代史について触れておく。北九州市は、1963年(S38)に門司、若松、戸畑、小倉、八幡の5市が合併することによって成立したものである。それと同時に政令都市に指定され、旧5市がそのまま区を構成した。1974年(S49)には小倉区が南北に、八幡区が東西に分区し、計7区となって現在に至る。旧市別に、それぞれの近代史を簡単にまとめると以下ようになる。

(1) 門司区

門司港は1889年(M22)の築港と同時に特別貿易港の指定を受けた。1891年(M24)に九州鉄道、黒崎・門司間が開通し、筑豊石炭及び食塩の輸出港として繁栄した。また多くの商社、船舶会社の出先機関が門司に進出し、日本銀行支店を始め、多くの都市銀行支店が軒を並べるに至った。その一方で1901年(M34)の門司・下関間の連絡船運航により、門司港は九州の玄関港としての役割をもつにいたり、港湾都市として益々、発展することになる。しかし1942年(S17)の国鉄・関門トンネルの開通、さらに1958年(S33)の門司国道トンネルの開通は、玄関港としての役割を失わせることになり、門司は結節点から徐々に通過点となっていった。それに追い打ちを賭けるように1973年(S48)には関門橋が開通し、通過点的性格を決定づけた。他方で産業構造の観点からすれば、石炭から石油にエネルギー供給が大きく転換することによって石炭需要が減少し、門司港の筑豊炭田の石炭積出港

としての役割も失われていった。このように人や物資の流れが大きく変遷することにより、門司が都市の近代化に取り残されてしまった。そのことが皮肉にも多くの近代洋風建築を残すことになった。それがさらに現在の「門司港レトロ事業」に繋がる。

(2) 若松区

若松区は響灘と洞海湾に挟まれた区域で、古来、漁業と製塩業を主要産業としてきた。近代に入り洞海湾の対岸に官営八幡製鉄所建設のため、若松築港会社が設立されて大規模な浚渫工事が始まった。若松港は1904年(M37)特別輸出港に指定され、さらに九州鉄道・筑豊興業鉄道の敷設により、門司港と並んで筑豊石炭の積出港として発展してきた。洞海湾の対岸の八幡製鉄所の存在は、若松の発展と無縁ではない。その後、石炭の需要の減少とともに石炭積出港としての役割は終えた。明治末期から大正初期にかけて建設された海運業、商社等の事務所が本町1丁目を中心に残っており、それらの建物が若松の往時を偲ばせてくれる。今でも戸畑と若松の間に渡船が運航されているが、現在は洞海湾を跨ぐ若戸大橋によって戸畑とつながり、戸畑とともに北九州工業地帯の一翼を担っている。

(3) 戸畑区

戸畑区はもともと近海漁業を中心とした漁業の町であったが、近代以降、洞海湾の埋立が進み、その埋立地にコークス製造、製鉄、紡績、ガラス製造など多くの工場が進出し、産業構造が大きく工業に変貌することになる。以後、八幡製鉄戸畑工場(現・新日本製鐵八幡製鉄所)を中心に、北九州工業地帯の一画を形成する。

一枝にある旧松本家住宅は、明治期に戸畑の産業界で活躍した安川・松本家の財力を伺い知ることができる。

(4) 小倉南区・北区

小倉は近世に城下町として、その都市基盤を形成してきた。近代になって1891年(M24)に黒崎・門司間に九州鉄道が開通すると同時に小倉工場が操業開始した。その後、鹿児島本線、日豊本線が敷設され、国道3号線、10号線が整備されるに及び、小倉はそれらの分岐点として、また交通の要衝として発展してきた。

(5) 八幡東区・西区

1897年(M30)に八幡に官営製鉄所を誘致することに成功し、ここに日本最初の近代的製鉄工場、官営八幡製鉄所が誕生する。昭和初期に官営から民営に移ってからも、常に日本の鉄鋼業の中心地として発展し、戸畑区、若松区とともに北九州工業地帯を形成している。

特に八幡東区は、工場建築とその関連施設及び関連企業の工場建築が集積し、北九州の発展の原動力となってきた。新日鐵の主工場が大分市に移った現在も、初期の工場諸施設が残っている。

§ 3 北九州市内の近代洋風建築の保存の現状について

北九州市の近代洋風建築の保存の現状を考察する場合に、これらの建物を現状保存、再利用保存、移築保存、複製建築の4種類に分類することが出来る。以下に、その4種類の保存方法別に考察を加える。その際にそれぞれの代表的な事例についても触れることにした。

なお巻末に、表1として「北九州市内に現存する近代洋風建築」をまとめ、表2として「北九州市内で失われた主な近代洋風建築」をまとめ、掲載した。

3.1, 現状保存

現状保存とは、現存する近代洋風建築のうち、建設当初から現在までその用途をほとんど変えることなく、また建物の維持管理の目的以外には大きな変化を加えず、現在地にそのまま残っている状態の建物を指す。

(1) 門司区

門司区では「門司港レトロ地区」にみられるように、多くの近代洋風建築が保存・活用されている。

門司区で現状保存にあたる近代洋風建築は多い。例としては部埼灯台、J R門司港駅本屋、旧九州鉄道本社、門司区役所、N T T門司営業所、明治屋門司営業所、山口銀行門司支店、福岡中央銀行門司支店、大分銀行門司支店、門司郵船ビルなど枚挙に暇ない。

部埼灯台(大字白野江、石造)は、北九州市内で最初の近代建築と称される建築である。

現在のJ R門司港駅本屋(西海岸、国重文、写真1)は、1914年(T3)に門司駅の新築移転の際に建設されたもので、関門連絡船の九州側の鉄道の玄関口としての役割を担ってきた。しかし1942年(S17)に関門鉄道トンネルが開通するとともにその役割を終ることになる。それと同時に駅名を他駅に譲り、門司港駅と改称して現在に至る。

J R門司港駅の駅前広場を挟んで門司郵船ビル(港町、八島 知設計、写真2)が向き合って建っている。これは1927年(S2)に日本郵船門司支店として建設されたものである。

国鉄清算事業団九州支社(旧九州鉄道本社、清滝、煉瓦造、写真3)は、1891年(M24)に九州鉄道の本社屋として建設された煉瓦造2階建ての建物で、現在は国鉄清算事業団九州支社など、J R九州所管の事務所等として使用されている。外壁の煉瓦積み方法はフランス積み^{注1}を使っている。

門司区役所(清滝、国登録文化財、写真4)は、1930年(S5)に門司市役所として建設されたものである。設計者は倉田 健で、彼は九州帝国大学建築課長として大正末期から昭和初期にかけて九州大学事務局本館、工学部本

^{注1} 当時(明治20年代)はイギリス積みが主流と考えられており、フランス積みが使われているのはめずらしい。

館など九州大学の重要な施設に関わってきた人物である。この門司区役所と工学部本館の外観が非常によく似ているのはそのことにもよる。

N T T 門司営業所（旧門司郵便局電話課、浜町、写真5）は、1924年(T13)に門司郵便局電話課の建物として、当時、逓信省技師であった山田守（1894-1966）の設計により建設されたものである。現在、この建物の3階に門司電気通信レトロ館が設けられている。

明治屋門司営業所（港町、煉瓦造、写真6）は、明治屋門司支店として會禰達蔵（1853-1937）の設計により、1909年(M42)に建設されたものである。正面の外壁がモルタルで覆われ、バラベットの除かれるなど外観は、当初とは異なる。

山口銀行門司支店（清滝、写真7）は、1934年(S9)に横浜正金銀行門司支店として、桜井小太郎（1870-1953）の設計により旧門司駅跡地に建設されたものである。

福岡中央銀行門司支店（浜町、写真8）は、1924年(T13)に藤本ビルブローカー銀行門司支店として建設されたもので、外観はアール・デコ調のスタイルに仕上げられている。

大分銀行門司支店（旧二十三銀行門司支店、港町、佐伯組設計、写真9）は1922年(T11)に建てられたものである。

門司港駅から二つ手前の門司駅（旧大里駅）の近くにサッポロビール九州工場（大里本町）がある。この工場は1913年(T2)に帝国麦酒門司工場として建設され、当時の本事務所（現工場事務所、写真10）、醸造場（現第一、第二、第三醸造所）、倉庫（1号、2号）が残っている。本事務所と醸造場は鉦滓煉瓦造で、倉庫は煉瓦造である。

(2) 若松区

若松区内の現状保存の事例としては、若松石炭会館、上野海運本社ビル、栃木ビル、旧古河礦業若松支店があげられる。これらの建物は洞海湾を望む若松区本町1丁目の海岸沿いに残っており、後述の北九州商工会議所若松支所を含め、この一帯は、北九州市内では「門司港レトロ地区」に継ぐ近代洋風建築の宝庫と言える。またこれらの建物からは、石炭積出港としての往時の若松港の繁栄ぶりを伺い知ること出来る。

若松石炭会館（本町、写真11）は、1905年(M38)に若松石炭商同業組合の会館として建設されたもので、現在は(株)若松石炭会館が所有している。

上野海運本社ビル（本町、保岡勝也設計、写真12）は、1913年(T2)に三菱合資若松支店として建設された。1969年(S40)に三菱鉦業から上野海運に所有が移ったが、現在でも事務所ビルとして使われている。同社敷地内の道路沿いには煉瓦造の倉庫（写真13）が現存する。

栃木ビル（本町、写真14）は若戸大橋のほぼ真下にあって、今もなお事務所ビルとして使われている。これは、

1920年(T9)に栃木商事（現栃木汽船）の本社ビルとして建設されたもので、設計したのは門司三井倶楽部を手掛けた松田昌平である。日本で最初のRC造と言われる三井物産横浜ビル（横浜市中区日本大通）が建設されたのが1911年(M44)であることから、この建物は九州地方でも比較的早い時期のRC造の建物であると考えられる。

旧古河礦業若松支店（本町、写真15）は、1919年(T8)に古河商事若松支店として建設された煉瓦造2階建ての建物で、戦前まで古河礦業をはじめ、古河関連企業の事務所として使用されてきた。戦後は日鉄鉦業が所有し、現在はひびき灘開発が借用している。しかし外から見る限り、建物が何かに使用されている様子は伺えない。この建物と門司港駅前の旧大阪商船とを比べてみても、意匠の点において決して見劣りはしない。この建物については今後の利用方法について、早期の検討を望みたい。

(3) 戸畑区

戸畑区での現状保存の事例としては、戸畑区役所、明治製菓戸畑工場、九州工業大学表門守衛所があげられる。

戸畑区役所（新池、福岡県営繕課設計、写真16）は、戸畑市役所の庁舎として1933年(S8)に建設されたもので、現在は区役所に引き継がれている。外壁には当時、流行していたスクラッチタイルが使われている。

明治製菓戸畑工場（銀座、阿部美樹志設計、写真17）は、1936年(S11)に建設されたもの。

九州工業大学表門守衛所（仙水、辰野・葛西建築事務所設計）は、明治専門学校表門衛所として1909年(M42)に建設され、現在も守衛所として使われている。辰野金吾が戸畑と関連を持つきっかけとなったのは、明治専門学校であり、松本健次郎邸の設計に繋がる。

(4) 小倉南区・北区

小倉南区・北区での現状保存の事例としては、東京製網小倉工場事務所、日本キリスト教会小倉教会、小倉玉屋、J R 九州小倉工場があげられる。

東京製網小倉工場事務所（小倉北区高浜、煉瓦造）は1906年(M39)に建設されたもの。

日本キリスト教会小倉教会（小倉北区京町、潮見長彦設計）は、1931年(S6)に鉦滓煉瓦を使って建てられた。

小倉玉屋（小倉北区室町）は、1935年(S10)に菊屋として建設されたデパート建築。当初は5階建てであったが、その後、増築を重ねて現在は8階建てとなっている。壁面の装飾に部分的にアール・デコ調の意匠が採り入れられている。西南女学院口講堂（小倉北区上到津）は、1935年(S10)にヴォーリズ（1880-1964）の設計により建設されたもの。

J R 九州小倉工場（小倉北区金田）は、1891年(M24)に九州鉄道が門司まで開通した際にその車両整備工場として建設された。工場内には給水塔（1892、煉瓦造）と

その後に建設された鍛冶場(現自動バネ検修場棟、1913、煉瓦造)、こう釘工場(現鉄工改造場、1914、鉄骨煉瓦造、鉄道院九州鉄道管理局設計)が残る。

(5) 八幡東区・西区

八幡東区・西区での現状保存の事例としては、新日鐵八幡製鉄所旧本事務所、大谷会館、徳養寺本堂、安田工業八幡工場がある。

新日鐵八幡製鉄所旧本事務所(八幡東区尾倉)は、1899年(M32)に官営八幡製鉄所本事務所として建設され、同工場の拠点となっていた。1922年(T11)に2代目の本事務所が新築されると同時に、その役割を終えることになった。同工場内には明治期に建設された鉄骨造の工場建築が数棟残っている。また高見地区には同工場の大規模な社宅(高見官舎、鉾津煉瓦造及び木造)があったが、そのほとんどが取り壊され、現在は所長官舎(旧長官官舎)が残っている。

大谷地区一帯には新日鐵八幡製鉄所の厚生施設が集中している。その中に1927年(S2)に建設された職員の親睦のための会館、大谷会館(八幡東区大谷、写真18)があり、今もその機能を十分に果たしている。

徳養寺本堂(八幡東区山王、上田敬吉設計、写真19)は、1915年(T1)に鉾津煉瓦を使って建設されたもの。

安田工業八幡工場(八幡東区枝光)内には、1912年(T1)に辰野金吾(1854-1919)の設計によって建設された工場建築が残っている。

3.2, 再利用保存

再利用保存とは、建設当初の用途を変えながら現在まで残っている建物の保存方法を指している。

(1) 門司区

門司区の再利用保存の事例としては、旧門司税関、旧大阪商船、J R九州本社ビル、Y M C A信愛幼稚園、出光美術館(門司)があげられる。

旧門司税関(東港町、煉瓦造、写真20)は、1912年(M24)に門司税関の新庁舎として、妻木頼黄(1860-1916)の指導のもと、大蔵省臨時建築部の設計によって建設された。その後、門司税関の合同庁舎への移転に伴い、この建物は国有財産の廃止、さらに民間企業への払い下げにより、戦前から戦後にかけて倉庫(松庫ビル)として使われていた。1990年(H2)に北九州市が「門司港レトロ事業」の一環として、この建物の復元工事を行った。

旧大阪商船(港町、国登録文化財、河合幾次設計、写真21、22)は1917年(T6)に大阪商船門司支店として門司駅前に建設されたもの。1994年(H6)には北九州市が「門司港レトロ事業」の一環として復元工事が施され、ほぼ原形に戻された。現在はイベント会場及び海事資料館として利用されている。その八角塔屋は、この地区のシンボルタワーの一つに数えられている。

J R九州・北九州本社ビル(西海岸)は、1937年(S12)にJ R門司港駅前に三井物産門司支店として建てられたもので、設計は松田軍平¹²⁾による。

Y M C A信愛幼稚園(老松町、煉瓦造、デ・ラランデ設計(推定))は、1916年(T5)に門司Y M C Aの本館として建設されたもので、戦後に幼稚園に転用され、現在に至っている。用途変更等で度々改修工事が行われ、建設当時の形をとどめていない。

出光美術館(門司)(東港町、写真23)は、大正期に建設された倉庫(村本倉庫?)を改修し、美術館として再利用したもの。

(2) 若松区

若松区では北九州商工会議所若松支所(本町、写真24)があげられる。これは昭和初期¹³⁾に麻生商店が建設した建物で、麻生鉾業など麻生関連企業の事務所として使用された。1967年(S42)に麻生セメントから北九州商工会議所に売却され、その若松支所となっている。

(3) 戸畑区

戸畑区一枝にある旧松本家住宅(国重文、写真25、26)は、1911年(M44)に松本健次郎邸として辰野・片岡建築事務所の設計によって建設された洋館建築である。辰野金吾と片岡安が手掛けた建築作品の中でも、アール・ヌーヴォー調の洋館建築としては非常に貴重な建物と考えられる。その2階部分はハーフ・チンバー形式をとり、建物内部は室内装飾から家具調度品に至るまでアール・ヌーヴォー様式を取り入れるなど、当時としては贅の限りを尽くした建物となっている。現在は西日本工業倶楽部によって管理され、その専用会館として、また戸畑の貴重な文化遺産として大切に保存されている。

(4) 小倉南区・北区

岡田医院(小倉北区室町、写真27)は、1936年(S11)に小倉警察署として建設されたものを転用している。1928年(S3)にR C造で建設された小倉警察署はすでに壊されており、岡田医院となっている建物は、その後に建てられたものである。

(5) 八幡東区・西区

北九州市立百三十銀行ギャラリー(八幡東区西本町、辰野・片岡建築事務所設計、写真28)は、1915年(T4)に百三十銀行八幡支店として建設されたものである。構造主体は煉瓦造ではなくR C造で、外壁に煉瓦を張ったものである。戦後の戦災復興事業による区画整理の際に南西に約80m、移動させられている。1986年(S61)に北九州市指定有形文化財となっている。1993年(H5)に北九州市によって全面的に改修工事が行われ、現在はギャラリーとして市民に広く使用されている。

¹²⁾ 旧門司三井倶楽部本館を設計した松田昌平の弟にあたる。

¹³⁾ 建物の外壁に張られているスクラッチタイルから、この建物が昭和初期に建設されたものであると推測される。

3.3. 移築保存

移築保存は、保存を目的に建物を移築する方法をいう。

移築保存の例としては、門司区の旧門司三井倶楽部本館（港町、国重文、写真29）があげられる。これは1921年(T11)に松田昌平の設計により、三井物産の社交場として谷町に建設された。戦後になって三井物産から国鉄に所有が移り、門鉄会館となる。さらに1995年(H7)には保存目的で現在地に移築された。様式としてはハーフ・チンバー形式をとっている。

3.4. 複製建築

複製建築を近代洋風建築の保存手法の範疇に入れるには無理があるが、例が少ないので参考としてあげておく。

旧門司税関の手前に、大連市にある建物を複製して建築された北九州市立国際友好記念図書館(東港町1、1994年竣工、写真30)がある。この建物は、大連市との友好都市締結15周年を記念し、北九州市が「門司港レトロ事業」の一環として建設されたものである。一見、煉瓦造りと見間違いそうであるが、鉄筋コンクリート造の構造体のうえに花崗岩及び煉瓦を化粧材に使っているものである。

§ 4 北九州市の近代洋風建築の保存方法について

北九州市内の近代洋風建築のうち、指定文化財を取り上げてみると、まず国指定の重要文化財（有形文化財）として唯一、旧松本家住宅がある。区指定の登録有形文化財として旧大阪商船と門司区役所の2件がある。北九州市文化財保護条例（昭和45年4月1日施行）に基づく市指定有形文化財としては旧百三十銀行八幡支店（現・北九州市立百三十銀行ギャラリー）が近代洋風建築では指定されているのみである。こうした文化財指定制度には行政の積極的な働きかけが必要ではあるが、それ以上に所有者の同意が必要であり、近代洋風建築の保存について所有者の理解と同意を得ることが必要であり、そのためには固定資産税など免税制度の確立と建物修理などに対する補助制度や低利の融資制度の確立が求められる。

北九州市が現在、取り組んでいる近代洋風建築の保存の中心事業として、「門司港レトロ事業」が位置づけられる。この事業は自治省の「ふるさとづくり特別対策事業」の指定を受けた事業で、門司港周辺地区（門司港レトロ地区）の歴史的建造物の保存活用事業を柱として、その地区の基盤整備事業を併せて行うとする一大プロジェクトである。既に第1期事業（1988年度～1994年度）は完了し、現在は第2期（1997年度～2001年度）に入っている。

第1期事業では、「旧門司三井倶楽部」の移転修理、「旧大阪商船」の修復、「国際友好記念図書館」の建設、

門司港駅前広場の整備、さらにレトロ地区の街路整備、港湾整備など門司港レトロ地区の整備に重点を置いた事業となっている。第2期事業では、清滝、栄町、和布刈地区などレトロ地区周辺に整備の重点を移し、事業を継続している。この事業の推進により、門司港レトロ地区は施設整備、インフラ整備が進んでいる。その結果として観光シーズンにはこの地区に多くの観光客を呼び込むことに成功し、「門司港レトロ事業」は大きな成果を収めていると言える。

門司区とは関門海峡を挟んで対岸になる下関市唐戸地区にも、旧下関英国領事館（1906、煉瓦造2階建て、ウィリアム・コーワン設計）、旧秋田商会（1915、RC造3階建て塔屋付き）、下関南部町郵便局（1900、煉瓦造2階建て）などの近代洋風建築が残っている。北九州市はこれまで下関市と協力して、1997年(H9)には「関門海峡観光推進協議会」を設立し、翌98年(H10)には両市の間で「関門景観協定」を締結した。こうした両市の協力関係をさらに推し進め、景観保全を計る目的とした「関門景観条例」の制定の動きがある。^{註4}

これが実現すれば、北九州市の門司港レトロ地区と下関市の唐戸地区の二地区を中心とした関門地区の近代洋風建築の保存事業が、これまで以上に積極的に推進されることが考えられる。また本年4月に開館された「下関市立しものせき水族館／海響館」とともに、両市の観光事業に拍車がかかるものと期待される。

§ 5 おわりに

北九州市の「門司港レトロ事業」は、自治体が取り組む近代洋風建築の保存事業のモデルケースとして注目に値する。しかし市指定文化財の北九州市立百三十銀行ギャラリーを除くと、北九州市の保存事業が「門司港レトロ事業」に特化していることは明白である。北九州市内には日本の近代化を担ってきた石炭産業、製鉄業などの産業近代化遺産とともに、多くの近代洋風建築が現存しており、今後はこれらの貴重な近代洋風建築について、所有者の理解を得ながら市指定文化財制度や国指定登録文化財制度をうまく活用し、これらの指定の対象を増やしていくことに務めるなど、幅広い保存施策が望まれる。特に若松区本町1丁目地区には、旧古河礦業若松支店をはじめとする貴重な近代洋風建築が、洞海湾を望む海岸沿いの一帯に集まっている。これらの建築が老朽化や経済性を理由に取り壊されないよう、保存の対象となるための何らかの方策を早い段階に講じる必要がある。

最後に本稿をまとめるにあたり、資料提供と調査にご協力いただいた北九州市経済局及び北九州市教育委員会に対し、ここに記して感謝の意を表します。

^{註4} 「中国新聞」（2001年2月16日付）による。

<参考文献及び参考資料>

- 1) 平野邦男・飯田久雄『福岡県の歴史』山川出版社(1974)
- 2) 松葉一清他『近代建築ガイドブック [西日本編]』鹿島出版会(1984)
- 3) 日本建築学会編『総覧 日本の建築 第9巻/九州・沖縄』新建築社(1988)
- 4) 白石直典『九州・山口の西洋館』西日本新聞社(1988)
- 5) 『角川日本地名大辞典40 福岡県』角川書店(1988)
- 6) 『北九州市の建築 明治-大正-昭和初期』北九州都市協会(1989)
- 7) 福岡県編『福岡県文化百選 4建物編』西日本新聞社(1991)
- 8) 「安川・松本家のひとびと」『For You』No.1 (福岡シティ銀行発行、1992年1月)
- 9) 福岡県教育委員会編『福岡県の近代化遺産』西日本文化協会(1993)
- 10) 日本建築学会近畿支部環境保全部会編著『近代建築物の保存と再生』都市文化社(1993)
- 11) 日本建築学会編『新版 日本近代建築総覧』技報堂出版(1994)
- 12) 昌子住江『歴史的遺産を生かす海峡のまち』『土木学会誌』Vol.79-10(1994)
- 13) 大河直躬編『都市の歴史とまちづくり』学芸出版社(1995)
- 14) 土崎紀子・沢良子『住まい学大系/065 建築人物群像』住まいの図書館出版局(1995)
- 15) 『海峡の街・門司港レトロ物語』北九州都市協会(1996)
- 16) 大河直躬編『歴史的遺産の保存・活用とまちづくり』学芸出版社(1997)
- 17) 『建築MAP北九州』TOTO出版(1998)
- 18) 近代建築小委員会「日本近代建築総覧(新版)追補九州・沖縄地区 (その1) 福岡県・佐賀県・長崎県・熊本県」『建築雑誌』Vol.113 No.1426(1998年9月号)所収
- 19) 下田あゆみ・福岡 誠『歴史的建築物の再利用についての事例研究 (その2) 門司港レトロ事業と下関市の歴史的建築物の保存事業について』(呉高専建築学科・1997年度卒業研究)(1998年3月)
- 20) 「国指定重要文化財旧松本家住宅」西日本工業倶楽部(1998)
- 21) 水野信太郎『日本煉瓦史の研究』法政大学出版局(1999)
- 22) 『北九州市の文化財』北九州市教育委員会(1999)
- 23) 清水真一他編『歴史ある建物の活かし方』学芸出版社(1999)
- 24) 中村哲夫『日本列島 西洋館の旅』コクサイクリエイツ(2000)
- 25) 中村哲夫『西洋館 明治・大正の建築散歩』淡交社(2000)
- 26) 『The Retoro Times』Vol.1~9 門司港レトロ倶楽部(1996~2000)
- 27) 「関門景観条例制定へ」『中国新聞』(2001年2月16日付)



写真1 JR門司港駅本屋



写真2 門司郵船ビル



写真3 国鉄清算事業団九州支社
(旧九州鉄道本社)



写真4 門司区役所



写真5 NTT門司営業所



写真6 明治屋門司営業所



写真7 山口銀行門司支店



写真8 福岡中央銀行門司支店



写真9 大分銀行門司支店



写真10 サッポロビール九州工場・事務所



写真11 若松石炭会館



写真12 上野海運本社ビル



写真13 上野海運本社・倉庫



写真14 栃木ビル



写真15 旧古河礦業若松支店



写真16 戸畑区役所



写真17 明治製菓戸畑工場



写真18 大谷会館



写真19 徳養寺本堂



写真20 旧門司税関



写真21 旧大阪商船・正面



写真22 旧大阪商船・南面



写真23 出光美術館 (門司)



写真24 北九州商工会議所若松支所



写真25 旧松本家住宅 (正面)



写真26 旧松本家住宅 (南側面)



写真27 岡田医院



写真28 北九州市立百三十銀行ギャラリー



写真29 旧門司三井倶楽部本館



写真30 北九州市立国際友好記念図書館

表 1 北九州市内に現存する近代洋風建築

No.	総覧	建物名称	建築当初の名称	用途種別	所在地	竣工年	設計者	施工者	構造概要	保存	備考
1	50001	国鉄清算事業団九州支社	九州鉄道本社	事務所	門司区清滝2-3-29	1891	不詳	不詳	煉2	A	
2	50002	明治屋門司営業所	明治屋門司支店	庁舎	門司区港町3-29	1909	會欄達蔵	清水組	煉2	A	
3	50003	旧門司税関		図書館	門司区東港町1-24	1912	大蔵省臨時建築部(妻木頼黄)	清水組	煉2	B	
4		北九州市立国際友好記念図書館	村本倉庫?	倉庫	門司区東港町1-12	1994	日建設計	安藤建築	RC3,B1	J	
5		三井倉庫門司支店倉庫	三井物産門司支店倉庫	倉庫	門司区東港町2-3	大正期	不詳	不詳	S1	B C	
6		出光美術館(門司)	同	倉庫	門司区東港町3-4	1908	不詳	不詳	煉1	A	
7	50005	三井倉庫門司工場・工場事務所	帝国麦酒門司工場本事務所	事務所	門司区大里本町3-6-1	1903	不詳	不詳	鉦滓煉2	A	
8	50006	第一醸造所	同	工場	門司区大里本町3-6-1	1913	不詳	不詳	鉦滓煉4	A	
9	50006	第二醸造所	同	工場	門司区大里本町3-6-1	1913	不詳	不詳	鉦滓煉6	A	
10	50006	第三醸造所	同	工場	門司区大里本町3-6-1	1913	不詳	不詳	鉦滓煉2	A	
11		1号倉庫	同	倉庫	門司区大里本町3-6-1	1913	不詳	不詳	煉1	A	
12		2号倉庫	同	倉庫	門司区大里本町3-6-1	1913	不詳	不詳	煉1	A	
13	50007	J R 門司港駅本屋	国鉄門司駅	駅舎	門司区大里本町3-6-1	1914	鉄道院九州鉄道管理局工務課	菱川組	W2	A	★
14	50008	YMCA信愛幼稚園	門司YMCA	幼稚園	門司区老松町11-8	1916	不詳(デ・ラランデ?)	不詳	煉2	B C	
15	50411	大分銀行門司支店	二十三銀行門司支店	銀行	門司区港町3-32	1922	佐伯組	佐伯組	RC3	A	☆
16	50009	旧大阪商船	大阪商船門司支店	事務所	門司区港町7-18	1917	河合幾次	内海鶴松	W2(一部RC)	B C	★
17	50010	旧門司三井倶楽部本館・附属屋		会館	門司区港町7-1	1921	松田昌平	不詳	W2	H	
18	50412	門司郵便ビル	日本郵船門司支店	事務所	門司区港町7-8	1927	八島 知	大林組	RC4	A	
19		J R九州自動車事業部	九州鉄道管理局保線事務所	事務所	門司区清滝2-4-8	1910	不詳	不詳	W2	A	
20	50413	J R九州・北九州本社ビル	三井物産門司支店	事務所	門司区西海岸1-6-2	1937	松田重平	清水組	RC6,B1	A	
21	50415	門司信用金庫	門司信用組合	銀行	門司区東本町1-2-9	1930	門司市技師	大倉土木	RC2	A	
22	50416	福岡中央銀行門司支店	藤本ビル	銀行	門司区浜町2-18	1924	不詳	不詳	RC2	A	
23		日華ビル	全購連ビル	事務所	門司区浜町2-15	1937	田中秀夫	清水組	RC3	A	
24	50417	NTT門司営業所	門司郵便局電話課	学校	門司区浜町4-1	1924	通信省(山田 守)	橋本組	RC3	A	
25	50418	清見小学校		学校	門司区清見3-1-1	1934	不詳	不詳	RC3	A	
26	50419	部崎灯台	門司政府米穀倉庫	灯台	門司区大字白野江字部崎	1872	R.H.ブラントン	不詳	石1	A	
27		農水省福岡食糧事務所門司倉庫		倉庫	門司区大久保2-10-1	1927・28	不詳	大林組	RC1	A	
28		日本セメント門司事業所		事務所	門司区風師1-4-51	1928	不詳	不詳	RC2	A	
29		協和発酵門司工場・倉庫		倉庫	門司区大里元町2-1	1925	不詳	不詳	煉1	A	
30		西日本製糖倉庫		倉庫	門司区大里元町5-19	不詳	不詳	不詳	煉1	A	
31	50011	日本製粉門司工場・倉庫		倉庫	門司区大里元町5-19	1930?	不詳	不詳	煉1	A	
32	50014	門司区役所	門司市役所	庁舎	門司区清滝1-1	1930	倉田 健	大林組	RC3	A	☆
33	50016	海運ビル		事務所	門司区西海岸1	1933・34	吉永門司区土木課長	木下組	W3	A	
34	50020	山口銀行門司支店	横浜正金銀行門司支店	銀行	門司区清滝2-3-4	1934	桜井小太郎	竹中工務店	RC2	A	
35		三井倉庫門司支店倉庫	三井物産門司支店倉庫	倉庫	門司区東港町3-4	1908	不詳	不詳	煉1	A	
36	50421	東京製網小倉工場事務所		事務所	小倉北区高浜1-3-1	1909	不詳	清水組	煉2	A	
37	50422	日本キリスト教会小倉教会	菊屋	教会	小倉北区京町3-11-6	1931	潮見長彦	不詳	鉦滓煉+W1	A	
38	50423	小倉玉屋	小倉警察署	デパート	小倉北区室町1-3-1	1935	不詳	金子組	RC5(現8),B1	A	
39		岡田医院	小倉警察署	庁舎	小倉北区室町2-2-1	1936	不詳	不詳	W2	B	
40	50424	西南学院ロウ講堂	鉄道院小倉こう釘工場	学校	小倉北区上到津1-10-1	1935	ヴォーリズ建築事務所	竹中工務店	RC1(一部2)	A	
41	50023	J R九州小倉工場鉄工改造場	同	工場	小倉北区金田3-1	1914	鉄道院九州鉄道管理局	清水組	煉+S1	A	
42	50024	同	同	工場	小倉北区金田3-1	1913	不詳	不詳	煉1	A	
43		同	同	工場	小倉北区金田3-1	1892	不詳	不詳	煉	A	
44	50425	到津遊園島の楽園	子供ホール	取水施設	小倉北区上到津4-1-8	1936	不詳	鴻池組	RC2	A	
45	50426	新日鐵紫川取水場ポンプ室		工場	小倉南区北方5-1	1918	不詳	不詳	煉1	A	
46	50427	陸上自衛隊小倉駐屯地資料館		住宅	小倉南区北方5-1	1898	不詳	不詳	W1	A	
47	50428	同	同	庁舎	戸畑区一枝1-4-33	1898	不詳	不詳	W2	A	
48	50025	旧松本家住宅(西日本工業倶楽部)	松本健次郎邸	工場	戸畑区新池1-1-1	1911	辰野・片岡建築事務所	不詳	W2	B	★
49	50027	戸畑区役所	戸畑市役所	庁舎	戸畑区新池1-1-1	1933	福岡県営繕課	鴻池組	RC3	A	
50	50028	明治製菓戸畑工場	明治専門学校表門衛所	工場	戸畑区仙水1-1	1909	辰野・葛西建築事務所	清水組	RC4	A	
51	50429	九州工業大学門守衛所	共同漁業ビル	事務所	戸畑区銀座2-6-27	1936	竹中工務店	竹中工務店	W1	A	
52	50430	日本水産戸畑支社	官営製鉄所事務所	事務所	八幡東区尾倉	1898	不詳	直営工事	RC4	A	
53	50031	新日鐵八幡製鉄所旧本事務所		事務所	八幡東区尾倉	1901	不詳	直営工事	煉2	A	
54		同	同	工場	八幡東区尾倉	1901	不詳	直営工事	S	A	
55		同	同	工場	八幡東区尾倉	1901	不詳	直営工事	S	A	
56		同	同	工場	八幡東区尾倉	1901	不詳	直営工事	S	A	
57		同	同	工場	八幡東区尾倉	1901	不詳	直営工事	S	A	
58		同	同	工場	八幡東区尾倉	1906	不詳	直営工事	S	A	
59	50032	北九州市立旧百三十銀行*ヤリ-徳養寺本堂	百三十銀行八幡支店	銀行	八幡東区本町1-20-2	1915	辰野・片岡建築事務所	阿部組	RC1,一部2	H C B	●
60	50034	新日鐵八幡製鉄所大谷会館		寺院	八幡東区山王1-6-2	1915	上田敬吉	不詳	鉦滓煉1	A	
61	50037	安田製鉄所大谷会館	安田製鉄所八幡工場	会館	八幡東区大谷1-2-4	1927	八幡製鉄所直営	直営工事	RC2	A	
62	50431	新日鐵八幡製鉄所高見住宅所長宅	長官官舎	工場	八幡東区枝光2-7-7	1912	辰野金吾	不詳	煉1	A	
63		新日鐵八幡製鉄所高見住宅所長宅		住宅	八幡東区高見1-3	不詳	不詳	不詳	W1	A	
64	50432	J R折尾駅		駅舎	八幡西区堀川町1-1	1916	九州鉄道会社	筑豊興業鉄道	W2	A	
65	50044	若松石炭会館	三菱合資若松支店	会館	若松区本町1-13-15	1905	不詳	不詳	W2	A	
66	50045	上野海運本社ビル	栃木商事	事務所	若松区本町1-10-17	1913	保岡勝也	清水組	煉3	A	
67	50049	栃木ビル		事務所	若松区本町1-15-10	1920	松田昌平	不詳	RC3,B1	A	
68	50050	旧古河礦業若松支店	麻生商店	事務所	若松区本町1-11-18	1919	不詳	大林組	煉2	A	
69	50053	北九州商工会議所若松支所		事務所	若松区本町1-11-19	昭和初?	不詳	不詳	W2	B	

※総覧の欄の数字は、日本建築学会編『日本近代建築総覧』技報堂出版(1980)に記載されているリスト番号を示す。

※備考欄の記号/★：国指定重要文化財、☆：市指定文化財

※保存方法の欄の記号/A：現状保存、B：再利用保存、C：修復保存、H：移築保存、J：複製建築

表 2 北九州市内で失われた主な近代洋風建築

No.	総覧	建物名称	建築当初の名称	用途種別	所在地	竣工年	設計者	施工者	構造概要	解体年
1	50004	門司国鉄倶楽部		会館	門司区		不詳	不詳	W2	
2		旧錦町小学校校舎		学校	門司区清滝5-3-21	1934	不詳	不詳	RC3	1995
3		旧門司小学校校舎		学校	門司区東門司2-16-1	1937	不詳	不詳	RC3	1995
4		門司警察署		庁舎	門司区本町	1893	不詳	不詳	W2	1993
5	50018	門司水上警察署		庁舎	門司区港町7-13	1935	不詳	不詳	RC4	
6	50021	三菱倉庫門司支店倉庫		倉庫	門司区東港町1-30	1918	不詳	不詳	煉1	1993
7	50026	身体障害者事業協会玄海授産所	明治礦業本社社屋	事務所	戸畑区北島旗町2-22	1919	久保田工務所	久保田工務所	W2+B1(煉)	1995
8	50029	戸畑警察署庁舎		庁舎	戸畑区千防1-9-14	1938	福岡県営繕課	鴻池組	RC2	1996
9	50030	十七銀行(現・福岡銀行)戸畑支店		銀行	戸畑区明治町2	1906	不詳	不詳	RC? 2	
10		戸畑市公会堂		会館	戸畑区	1929	橋本勉民	鴻池組	RC1	
11	50033	新日鐵八幡製鉄所新和会館	大蔵教習所	事務所	八幡東区大蔵1	1914	八幡製鉄所	直営工事	W2	1991
12	50035	新日鐵八幡製鉄所本事務所		研究所	八幡東区枝光1-1	1922	藤本勝往(大蔵省技師)	不詳	鉦滓煉瓦3,B1	
13	50038	新日鐵八幡製鉄所技術研究所		研究所	八幡東区枝光本町	1928	八幡製鉄所	不詳	RC2	
14		安田銀行枝光支店		銀行	八幡東区	1933	不詳	不詳	RC2	
15	50039	八幡警察署		庁舎	八幡東区大谷町1	1936	不詳	不詳	RC4	
16	50041	新日鐵八幡製鉄所親和会講堂		講堂	八幡東区大蔵1	1934	八幡製鉄所	直営工事	煉1	
17		新日鐵八幡製鉄所高見住宅		住宅	八幡東区高見2	大正初	八幡製鉄所	直営工事	鉦滓煉瓦+W	
18	50048	三井物産若松支店		事務所	若松区本町2-17-21	1930	不詳	不詳	RC2	1993
19	50051	若松駅舎		駅舎	若松区本町	1906	不詳	大林組	W1	
20	50052	北九州市若松区役所	若松市役所	庁舎	若松区浜町1-1-1	1922	清水組	清水組	RC2,B1	1989
21	50059	若松水上警察署庁舎		庁舎	若松区本町1-11-15	1933	不詳	清水組	RC4	1995
22		若松警察署庁舎		庁舎	若松区桜町1-26	1933	不詳	不詳	RC3	1995

※総覧の欄の数字は、日本建築学会編『日本近代建築総覧』技報堂出版(1980)に記載されているリスト番号を示す。

河川における整備指針と事後評価の整合性に関する研究

(環境都市工学科) 市坪 誠, 山口隆司

(呉大学) 今田寛典

(専攻科建設工学専攻) 谷本泰雄

A Study on Consistency of Maintenance Concept and Evaluation of River

(Department of Civil Engineering) Makoto ICHITSUBO, Takashi YAMAGUCHI

(Kure University) Hirofumi IMADA

(Advanced Architecture and Civil Engineering Course) Yasuo TANIMOTO

Abstract

Recently it is required in review of the waterside space that have not only ability of flood control and irrigation but also amenity. For execution of river works, the maintenance followed by planning concept is necessary. But, there are no evaluations of river landscape in consideration of individual concepts. The purpose of this paper is to investigate about relation between river landscape and its concept of maintenance of urban river flowing in Hiroshima City. Basically, it is to investigate consistency of maintenance concept and landscape evaluation of river using correspondence analysis.

Key Words: urban river, river landscape, maintenance concept, evaluation, consistency

都市河川, 河川景観, 整備指針, 事後評価, 整合性

§ 1 はじめに

近年, 地球規模のみならず身近な生活空間において, 自然との共生が求められ, 社会基盤整備を進める公共事業においては, 特にそのあり方が問われるようになった。河川整備においてもその例に漏れず, 従来の治水, 利水機能の向上を主とした整備に止まらず「アメニティー」を追求する気運が強まってきている。つまり, 河川とは本来生活空間の一部として, 治水, 利水機能ばかりでなく, 快適性を保持していたものの, これまでの改修ではそれらが失われてきた傾向にある。このような背景から, 1990 年より国土交通省(旧建設省)が「多自然型川づくり」を推進してきており, 審美性だけでなく, 防災機能, 生態機能としての多様性を兼ね備えた水辺空間への見直しが求められるようになった。通常, このような整備では, まず整備の指針となりうる整備コンセプトを設定しその方向性に沿った整備が行われる。広島市の都市河川「太田川」においては「水の都整備構想」を基に河川整備が行われている。これに対し, 公共事業を行った後の評価は十分行われているとはいえず, 中でも整備指針である整備コンセプトに対する適合性についての事後

評価は十分検討されているとはいえない。

そこで本研究では, 広島市内を流れる太田川 6 河川を対象として, 河川景観の現状評価を行うとともに, 河川景観と整備コンセプトとの整合性について検討を行った。つまり, 河川整備に対する景観からの事後評価について検討を行った。

§ 2 水の都整備構想概要

本研究の対象となる一級河川太田川は冠山を源とし, 下流域で計 6 河川に分派している。この扇状地に形成された都市・広島は, 古くから「水の都」として親しまれてきた。広島にとって水辺空間は平和都市の象徴であると同時に生活・文化の原点であった。しかしながら, 昭和初期より全国一律に行われた治水等を主な目的とした整備により, 水辺空間は都市活動から切り離れたものとなり背後市街地とのつながりが急速に薄れたものとなった。こういったことを反省として「水辺空間の活性化・魅力化」を共通のテーマとし, 平成 2 年 3 月太田川において, 建設省, 広島県及び広島市の 3 者の協力によって,

「水の都整備構想」¹⁾の策定が行われた。これによって、長期的な整備の方向性が示され、都市再開発等のプロジェクトを活用した「水の都」にふさわしい環境整備、空間デザインの検討等が行われるようになった(図1)。整備コンセプトは、「ゾーン別水辺づくりのテーマ」として7つのゾーン、「水辺空間の性格」として5つの空間に分類されている。水の都整備構想に関する概略図を図2に示し、ゾーン別のテーマ及び水辺空間の性格について表1に示した。

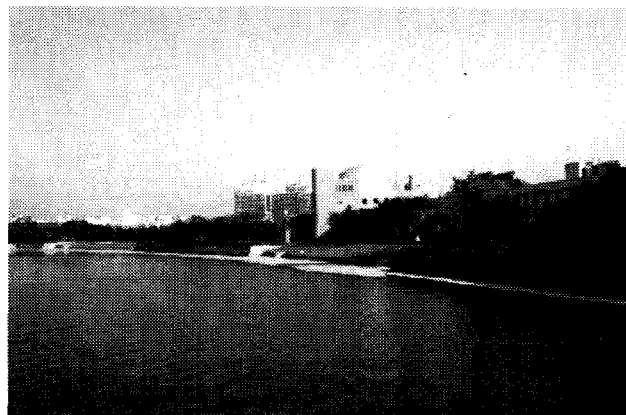


図1 太田川景観

§3 研究概要

本研究は、実際に行われた河川整備に対し、設定した構想コンセプトに沿った整備・改修が行われたかの判断(評価)を行うものである。つまり、この景観診断を行うことにより整備構想、整備構成要素の見直しが可能となるものと思われる。

概要として、まず太田川を評価対象に設定し、写真(サンプル)、感性の抽出を行った。これらを基に公共空間の景観評価を行うことから、評価者の主観が介在しないよう評価の共通基準を把握するため、第1次評価を行った。この評価結果の傾向を調べ、第2次評価で用いるサンプル、感性を選定し、第2次評価を行った。この結果を基に因子分析を行い、河川景観における心理構造の把握を行った。また、コレスポネンシス分析によって、整備構想に対する河川景観の現状評価との整合性の把握を行った。以下の各節において詳細を述べる。

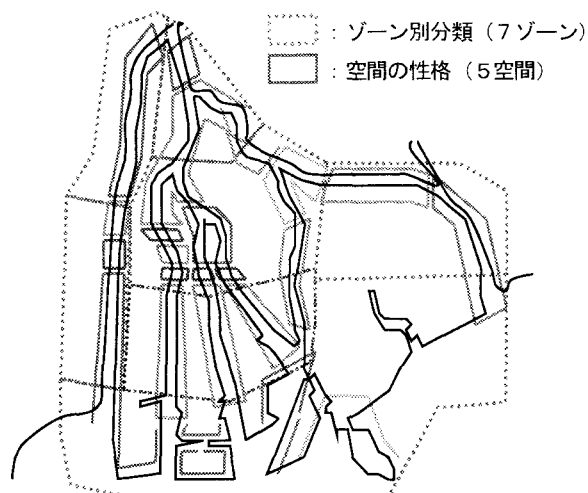


図2 水の都整備構想概略図

3.1 研究対象

広島県広島市内を流下する太田川放水路、天満川、太田川(本川)、元安川、京橋川及び猿猴川の計6河川を研究対象とした。対象河川の撮影地点として、太田川整備構想において整備ポイントとなるゾーン、空間でのゾーニング地点を基に255地点を撮影対象とした。

3.2 撮影条件

以下の条件を考慮し、太田川計624枚の撮影を行った。

3.2.1 視点場

人が河川を歩きながら眺める場合を想定した場合、視点場として堤防、橋上及び高水敷が考えられる²⁾。これらは一般的に視界を遮るものがない視点場であるといえる。そのため本研究では、堤防、橋上及び高水敷を視点場とし、橋上では流軸景、また、堤防、高水敷では対象景観が連続となるよう対岸景を上流、対岸及び下流方向の3方向において撮影を行った。

3.2.2 視点高

成年男子が直立した状態での視点となる視点高さ160cmからの撮影を行った。

表1 水の都整備構想

ゾーン別の テーマ	A	都心ゾーン水の都広島 シンボル空間
	B	南部ゾーン: 町の活力を育む新たな水辺
	C	河口ゾーン: 瀬戸内海と都市を結ぶ新世紀の水辺
	D	北部ゾーン: 歴史と自然の豊かなデルタのふるさと
	E	東部ゾーン: 水辺と一体化した都心住宅地の環境づくり
	F	放水路上流ゾーン: 人と人とのふれあい空間
	G	放水路下流ゾーン: デルタを守る雄大な水辺
水辺空間の 性格	1	都市の顔を形成する水辺空間
	2	賑わいの場を形成する水辺空間
	3	良好な住環境を形成する水辺空間
	4	スポーツ・レクリエーションの場を形成する水辺空間
	5	市民との新しいふれあいをつくる水辺空間

3.2.3 視野角

視野の範囲については、人が顔を動かさずに見ることが可能な範囲である静視野（左右約 60 度、上下約 70～80 度）を用いることとした。ここで用いた左右 60 度の視野（グレアゾーン）²⁾とは、35mm レンズを用いた写真をサービス判に焼き付けたときの画角とほぼ等しいことから、本研究の景観調査では、35mm レンズを用い撮影を行った。

3.2.4 その他

撮影の際、光量が十分確保されていること、満潮であることについても考慮を行った。

3.3 評価対象の選定

本評価で用いる感性ワード、サンプルの選定を目的とし、以下の手順（図 3）によった。

まず、類似性及び評価の容易さを考慮し、事前（第 1 次）評価用としてサンプル 153 枚、感性ワード 60 対の抽出を行い、被験者 10 名による SD 評価を行った。これを基にクラスター分析を行い感性及びサンプルの類似度を検討するとともにそれぞれの平均値、標準偏差を踏まえ、サンプル 42 枚、感性ワード 20 対の選定を行った。これを基に河川景観の本調査（第 2 次評価）を行った。

3.4 評価手法

以下に示す手順により、官能調査を行った。

3.4.1 被験者

本研究の主旨を事前に十分説明し、よく理解した呉工業高等専門学校学生計 65 名（16～20 歳）を対象とした。

3.4.2 評価方法

サンプル 42 枚、感性ワード 20 対を 5 段階の SD 尺度（Semantic Differential Method：意味微分法）の形式に整え、写真（30×20cm）を個人ごとに呈示し、官能検査を行った。

3.5 解析方法

サンプル 42 枚、感性ワード 20 対及び被験者 65 名の第 2 次評価データを基に以下の解析を行った。

3.5.1 因子分析

都市河川景観に対する心理構造を把握するために第 2 次評価データを基に因子分析を行った。

3.5.2 コレスポネンデンス分析

コレスポネンデンス分析³⁾とは、反応頻度を分析データとして、評価項目に対する回答パターンを手がかりに、似た回答をしたサンプル同士と回答サンプルの似た評価項目同士を近接させ、その類似性の把握を可能とする。

本研究では、「水の都整備構想」における“ゾーン×空間”の現状評価と整備構想コンセプト（感性）との整合性の把握を目的とした。

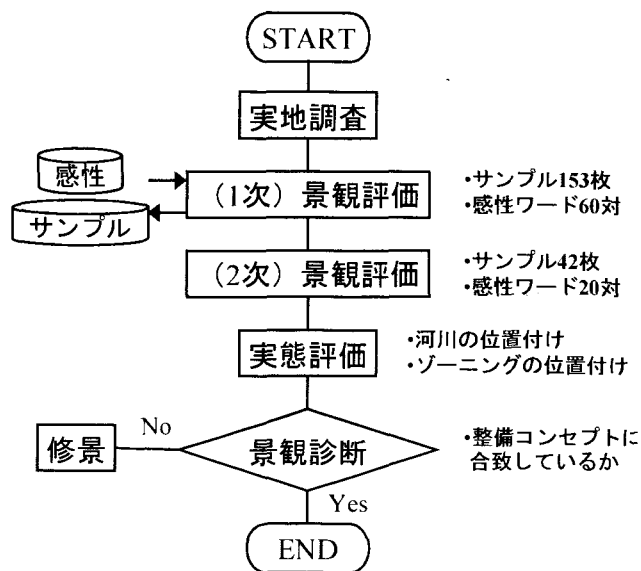


図 3 研究概要

まず、太田川 6 河川の整備の方向性となっている「水の都整備構想」と対応する感性を評価感性から 6 対抽出した。続いて、整備構想において規定されているゾーンと空間において該当するサンプルから代表サンプル計 14 枚を挙げた。最後に、被験者 65 名による評価結果からこれら代表サンプルに対する評価感性 6 対の評価頻度の抽出を行いコレスポネンデンス分析を行った。

§ 4 解析結果

紙面の都合上、景観評価を基とした景観の実態評価（第 2 次評価）と景観診断の結果について述べる。

4.1 河川景観における実態評価

河川景観に対する心理構造を把握するために、本評価（被験者 65 名、感性 20 対及びサンプル 42 枚）を対象に因子分析を行った。ここで、変数（感性）間に独立性がないと予測されるため斜交回転（プロマックス回転）を用いて解析を行い、固有値 1 まで分解して 3 軸に要約した（表 2）。ここでの累積寄与率は 87.9% となり、本解析の信頼度は非常に高いと判断された。

第 1 因子軸（寄与率 58.7%）は、雰囲気の良い、快適な、楽しめるといった感性で構成されていることから、代表尺度を「雰囲気の良い」とする“アメニティー因子”と命名した。第 2 因子軸（寄与率 23.1%）は、現代的な、都会的な、活力あるといった感性で構成されており、代表尺度を「現代的な」とする“活発因子”と命名した。第 3 因子軸（寄与率 6.1%）は、歴史的な、懐かしいで構成されることから、代表尺度を「歴史的な」とする“郷

愁因子”と命名した。

以上から河川景観に対する評価構造が判明した。次に因子分析結果をもとに各景観の因子得点(スコア)を算出し、河川ごと分類するとともに、X軸をアメニティー因子、Y軸を活発因子とする図に表した(図4、図5)。

河川景観“放水路”は、第2象限から第4象限にかけて分布することが理解できた。つまり、放水路の景観は、都市としての活発度は低いものの水辺空間としてのアメニティー度が高い景観もしくはその逆のアメニティー度が低く活発度は高い景観となり、2極化することが理解できた。また、水辺のアメニティー性と都市の活発性が共存しない空間ともいえる。河川景観“太田川(本川)”は、第1象限を中心点とした円形に分布した。つまり、本川の景観は、水辺のアメニティー度が高いだけでなく都市の活発度が高い景観であることが理解できた。河川景観“天満川”は、第1象限から第3象限にかけて分布することが理解できた。つまり、天満川は、都市の活発度も水辺のアメニティー度とともに低い景観もしくはその逆の、ともに高い景観であることが理解できた。

河川景観“元安川”と“京橋川”はともに、天満川と同様第1象限から第3象限にかけて分布し、都市の活発度、水辺のアメニティー度ともに低いか、ともに高い2極化した景観を保持することが理解できた。河川景観“猿猴川”は、主に第2象限を中心に三角形に分布した。つまり、猿猴川の景観は、都市の活発度は高いものの水辺のアメニティー度は低い景観であることが理解できた。

なお、河川によってはそれぞれのグループから逸脱する景観(地点)を、1、2地点程度保持することが把握された。この原因は、同じ河川ながら整備コンセプトも

しくは景観背景がグループ内の他のポイントと異なる結果であることにより説明された。

次に景観を“ゾーン×空間”ごとに分類するとともに、X軸をアメニティー因子、Y軸を活発因子とする図に表した(図6)。太田川6支流は「水の都整備構想」で7ゾーン、5空間として定義され(表1)、17グループ(“ゾーン×空間”)に分類される。各“ゾーン×空間”では、各々に整備コンセプトが存在する。例えばA2では、“A:都心ゾーン/水の都広島のシンボル空間”と“2:

表2 因子分析結果

感性	因子		
	1	2	3
雰囲気の良い	0.973	0.340	0.525
快適な	0.973	0.346	0.388
楽しめる	0.961	0.378	0.422
ふれあえる	0.953	0.248	0.584
親水性のある	0.945	0.105	0.429
清潔感のある	0.944	0.389	0.266
開放的な	0.932	-0.019	0.495
穏やかな	0.890	-0.114	0.534
風格のある	0.869	0.386	0.673
安全な	0.829	0.338	0.236
地域性を含んだ	0.813	0.234	0.567
季節感のある	0.803	0.031	0.674
特色のある	0.681	0.628	0.464
現代的な	0.179	0.925	-0.400
都会的な	-0.004	0.922	-0.433
活力のある	0.364	0.897	0.133
賑わいのある	0.185	0.896	0.041
整備された	0.661	0.752	-0.080
歴史的な	0.364	-0.138	0.857
懐かしい	0.621	-0.452	0.779
固有値	11.739	4.626	1.219
寄与率(%)	58.697	23.129	6.093
累積寄与率(%)	58.697	81.827	87.920

(斜交回転)プロマックス法

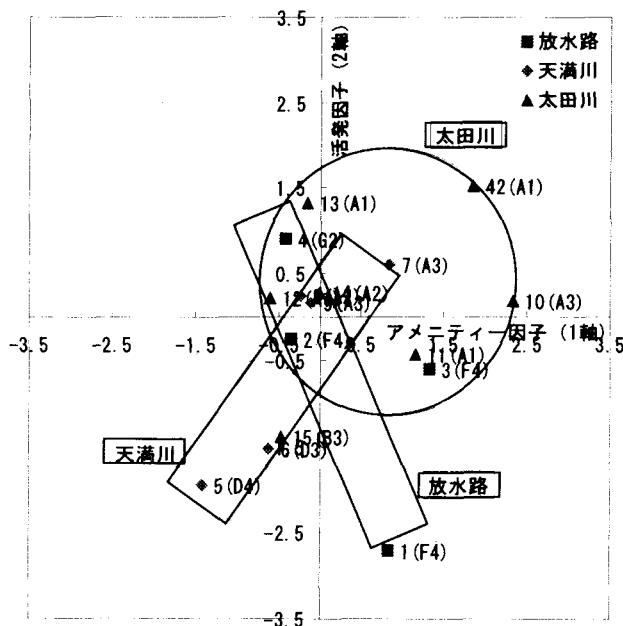


図4 河川景観評価(放水路、天満川、太田川)

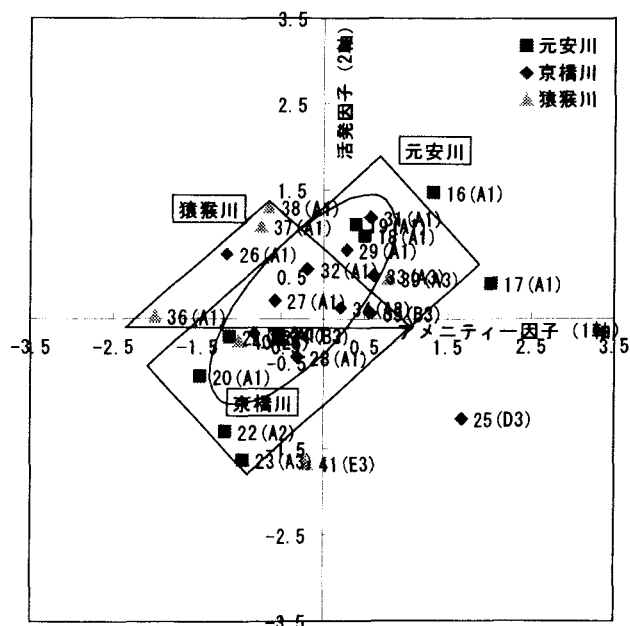


図5 河川景観評価(元安川、京橋川、猿猴川)

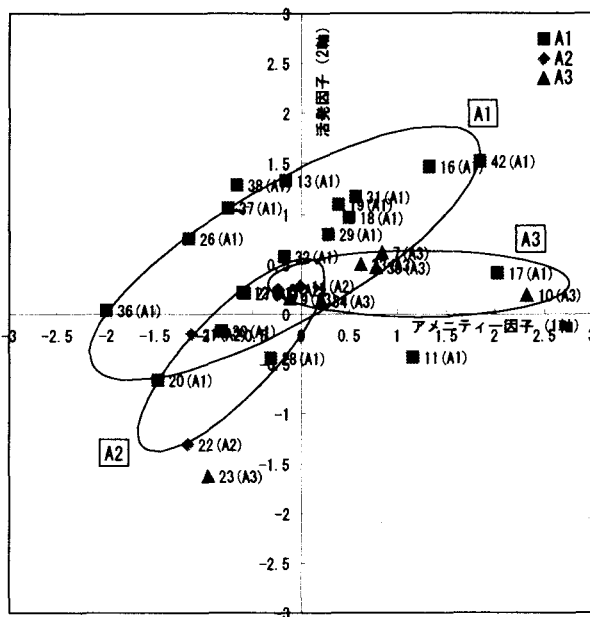


図 6 ゾーン・空間（アメニティー因子－活発因子）

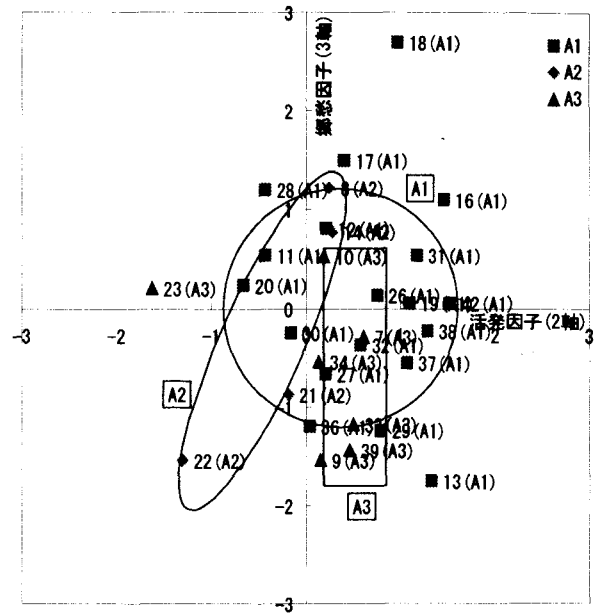


図 7 ゾーン・空間（活発因子－郷愁因子）

表 3 感性とサンプル間の距離

ゾーン × 空間	本調査で採用写真番号	ゾーン × 空間コンセプト	距離	コンセプト個別評価	サンプル総合評価
A1	42	都会的な	0.225	○	○
	16	都会的な	0.864	×	×
	29	都会的な	0.212	○	○
A2	8	都会的な	0.744	×	△
		賑わいのある	0.478	○	
	14	都会的な	1.155	×	×
A3		賑わいのある	0.877	×	
	7	都会的な	0.391	○	○
	10	都会的な	0.744	×	×
B3	33	都会的な	0.158	○	○
	35	活力のある	0.516	×	×
D3		歴史的な	0.857	×	×
	25	懐かしい	0.699	×	
D4		歴史的な	1.274	×	△
	5	懐かしい	0.280	○	
E3	41	都会的な	1.475	×	×
F4	3	ふれあえる	0.168	○	○
G2	4	賑わいのある	0.360	○	○

凡例 ○：適合，△：どちらでもない，×：不適合

賑わいの場を形成”から、「都会的な」及び「賑わいのある」が整備コンセプトとなる。ここでは、サンプル数の関係から A1、A2 及び A3 の 3 グループを対象とした。

グループ“A1”は、第 1 象限、第 2 象限にかけて分布することが理解できた。つまり、A1 の景観は、水辺のアメニティー度は多様なものの都市の活発度は高い景観であることが理解できた。グループ“A2”は、第 3

象限を中心に分布することが理解できた。つまり、A2 の景観は、水辺のアメニティー度及び都市の活発度がともに低い景観であることが理解できた。グループ“A3”は、第 1 象限を中心に分布することが理解できた。つまり、A3 の景観は、水辺のアメニティー度及び都市の活発度がともに高い景観であることが理解できた。また、A1、A2 及び A3 のすべては、水辺のアメニティー度及

び都市の活発度がともに求められる空間であり、これを外れる景観の修景が必要とされた。

また、A1、A2 及び A3 の 3 グループを、X 軸を活発因子、Y 軸を郷愁因子とした図中に表した (図 7)。

グループ“A1”は、第 1 象限、第 4 象限にかけて分布することが理解できた。つまり、A1 の景観は、都市の活発度は高く景観の郷愁度がばらつく傾向にあることが理解できた。グループ“A2”は、第 1 象限、第 3 象限にかけて分布することが理解できた。つまり、A2 の景観は、都市の活発度及び景観の郷愁度がともに低いとともに高い傾向にあることが理解できた。グループ“A3”は、第 4 象限を中心に分布することが理解できた。つまり、A3 の景観は、都市の活発度が高いものの景観の郷愁度は低いことが理解できた。

また、A1、A2 及び A3 のすべては、景観における郷愁度が求められていないものの、これを満たすものが存在することが理解できた。

4.2 整備コンセプトを考慮した景観診断

次に、整備コンセプト (感性) に対する景観の整合性を明らかにするため、コレスポンデンス分析を行った。各“ゾーン×空間”における代表サンプル 14 枚に対する診断結果を表 3 に示した。なお、サンプルと整備コンセプトとの距離の基準値を 0.5 と設定し、この値以下を適合していると判断した。

グループ“A1”に該当するサンプル No.42 は、コンセプトの距離が 0.225 となった。このことから、個別評価結果として、コンセプトに適合した景観と判断された。同様に、No.16 は、距離が 0.864 となりコンセプトに適合しない景観と判断された。以下同様に、12 サンプルの評価を行った。

コンセプトが 2 つ以上あるサンプルについては、個別評価のそれぞれを併せて判断し総合評価とした。No.8 は、整備コンセプト「都会的な」には適合しないものの「賑わいのある」には適合すると判断された。No.14 は、2 つの整備コンセプトともに適合しないと判断された。

これより、前節で評価軸 (評価因子) を踏まえた実態評価から修景の方向性を判断する一方、整備コンセプトとの整合性の理解から修景の是非に対しより具体的な判断を可能とすることが理解できた。つまり、図 5 の第 1 象限に存在するサンプル No.42 と No.16 は、そのスコア (位置) により都市としての活発度は高く、ともに景

観上優れていると判断されるものの、整備コンセプト「都会的な」との距離からその修景の是非の判断はそれぞれ適及び不適に分岐されることが理解できた。

§ 5 まとめ

本研究で得られた結果についてまとめると以下の通りとなる。

- 1) 都市河川景観に対する心理構造は“アメニティー因子”、“活発因子”及び“郷愁因子”といった 3 軸で構成された。
- 2) コンセプトを考慮し施工された景観は、その評価が各支流、各“ゾーン×空間”ごとにまとまり、これより景観上のそれぞれの特性が把握された。
- 3) 景観評価は、整備コンセプトの一致性もしくは景観背景に大きく影響されることが理解できた。
- 4) 景観の現況と整備コンセプトとの整合性の理解は、修景の是非について、より具体的な判断を可能とすることが理解できた。

本研究により、整備コンセプトに沿った景観形成の重要性が把握され、その修景判断に対する基礎的資料を得た。優れた景観形成を行うために、地域の文化及び風土を加味した景観整備コンセプトの立案が不可欠となることから、今後、多様性を加味し他の地域での景観整合性の検討が求められる。

謝辞

本研究の実施に際し、香川大学助手・小松孝二先生より多大な協力を得ました。付記して謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 建設省 (太田川工事事務所調査設計科)・広島県 (土木建築河川課)・広島市 (企画調整局文化課): 水の都ひろしま (水の都整備構想の概要), 1990.3
- 2) 島谷幸宏: 河川風景デザイン, 山海堂, pp.17-28, 1994.9
- 3) 朝野熙彦: 入門多変量解析の実際, 講談社, pp.27, 1997.8

コンクリート構造物の表面劣化が視覚評価に与える影響

(環境都市工学科) 市坪 誠, 竹村和夫, 山口隆司
(専攻科・建設工学専攻) 迫井裕樹

Effect of Visual Evaluation on Surface Deterioration of The Concrete Structures

(Department of Civil Engineering) Makoto ICHITSUBO, Kazuo TAKEMURA
and Takashi YAMAGUCHI
(Advanced Architecture and Civil Engineering Course) Yu-uki SAKOI

Abstract

Recently the early deterioration of concrete structures due to alkali silica reaction (ASR), carbonation, salt attack, frost damage and so on come to a head, and become a big object of public concern in Japan. The concrete structures can not be given in a "best condition", without periodical maintenance, rehabilitation and preservation.

This paper described the effect of visual evaluation on surface deterioration of the concrete structures. Concrete deterioration caused by individual or compound factor was evaluated by both general and special people. We obtained the databases of the relationship between the surface deterioration of the concrete structures and the human feelings.

Key Words: deterioration, concrete structure, visual evaluation, compound deterioration, statistic analysis
劣化, コンクリート構造物, 視覚評価, 複合劣化, 統計解析

§ 1 はじめに

近年、高架橋下部のコンクリート片の落下及びトンネル内部のコンクリートの崩落などコンクリート構造物の早期劣化が顕在化し、その耐久性が社会問題として大きく取上げられるようになった。建設構造物の多くは社会基盤の根幹をなすことから、耐久性・安全性はもとよりその健全性が社会全体に与える影響は大きい。また周囲環境に対する意識の高まりから、構造物に対して景観・美観性も要求され、これらを併せた維持管理・保全計画は重要な要素となっている。しかし、劣化コンクリートの変状が構造物評価及び診断に与える影響はまったく検討されていないのが現状である。

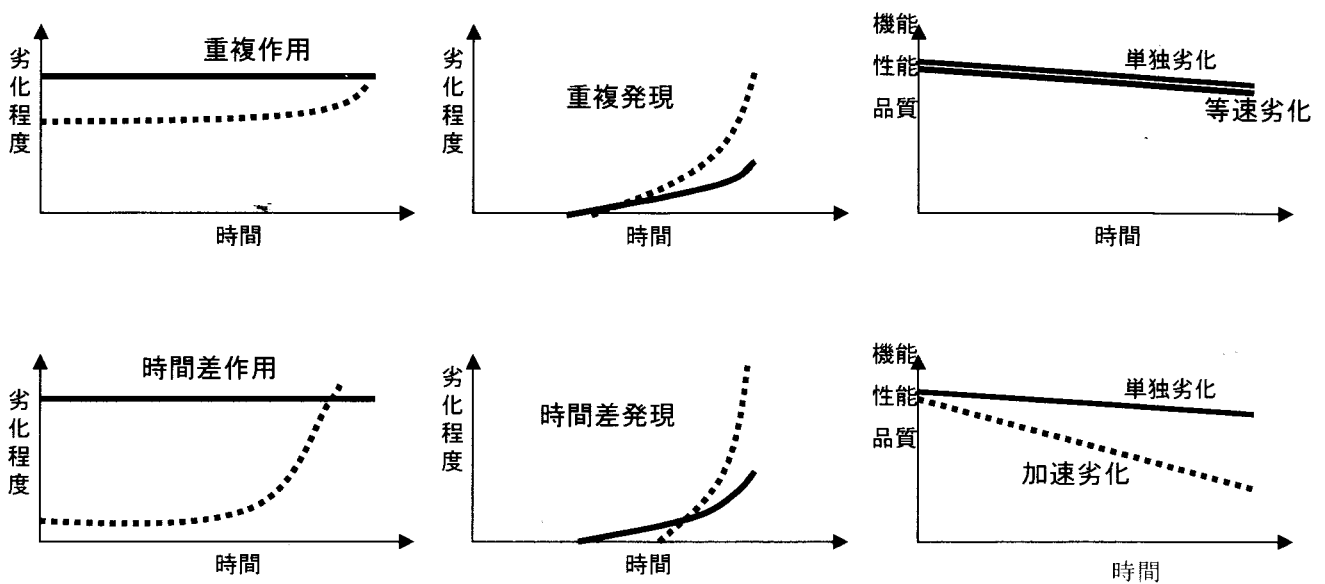
そこで本研究では、コンクリート構造物の劣化現象が

視覚評価に与える影響を把握するため、表面劣化に対する官能検査をもとに劣化・美観評価について検討を行った。特に、単独劣化のみならず複合劣化による劣化現象も考慮し、構造物に対する専門家及び非専門家の心理構造及び構造物評価に影響する要素について検討を行った。

§ 2 複合劣化

2.1 複合劣化の定義

複合劣化を定義するに当たり、まず劣化及び劣化機構を定義する。劣化とは、経年に伴う状態の変化、機能・性能・品質の低下現象と定義され、また、その様な状態を生じさせる外的な環境作用、内在する劣化因子、外的



1) 劣化機構の作用時期

2) 劣化現象の発現時期

3) 劣化速度

図1 複合劣化メカニズム¹⁾

な荷重及び内部応力を総称し、劣化機構と定義する¹⁾。

複合劣化は総称的に『幾つかの劣化要因が複合して生じる劣化』と定義される¹⁾。

複合劣化の事例として、劣化原因調査より、中性化と塩害の複合劣化現象が劣化の進行を早めているといった報告がある¹⁾。また、凍害を受ける地域で凍結防止剤（塩）の散布により塩害が進行し、その劣化が激しくなるといったものもある。

2.2 複合劣化のメカニズム

複合劣化において、劣化機構の作用時間、劣化現象の発現時期及び劣化速度の観点から分類を行うと以下のよう分類される¹⁾ (図1)。

1) 劣化機構の作用時期による分類

- ①重複作用：幾つかの劣化作用が、同時期に作用する。
- ②時間差作用：幾つかの劣化作用が、時間において段階的に作用する。

2) 劣化現象の発現時期による分類

- ①重複発現：幾つかの劣化現象が、同時期に現れる。
- ②時間差発現：幾つかの劣化現象が、時間において段階的に現れる。

3) 劣化速度

- ①等速劣化：同程度の負荷の劣化要因における単独劣化と、劣化速度が同程度の劣化。
- ②加速劣化：同程度の負荷の劣化要因における単独劣化よりも、劣化速度が速い劣化。

上記の分類を考慮しつつ、劣化作用・劣化現象間の相互作用の有無を勘案すると、複合劣化は以下の3種類に

分類することができる。

- 1) 独立的複合劣化：同時に劣化要因は作用するが、お互いに相互作用は生じず、劣化速度も単独劣化の場合と変わらない劣化。
- 2) 相乗的複合劣化：同時に作用する劣化要因どうしの相乗効果によって、劣化速度が加速される劣化。
- 3) 因果的複合劣化：ある劣化要因による劣化現象が別の劣化要因の負荷を発生・増大させる劣化。

§3 研究内容

3.1 事前調査

景観評価において、その評価プロセスは「万人共通の評価基準」と「個人的な評価基準」との二つの組み合わせを経て行われる²⁾。そこで、判断指標に評価者の主観が介在しないよう、劣化構造物に対する評価基準を把握するための事前調査を行った。

コンクリート構造物（土木・建築）の劣化事例写真を約 300 枚収集³⁾⁴⁾し、代表的あるいは特徴ある変状の写真を 73 枚抽出した。また、既往の文献⁵⁾を参考に劣化構造物を評価する形容詞を多数抽出した後、専門家の評価形容詞対を 28 組、一般の人々（以下、非専門家と示す）の評価形容詞対を 21 組にまとめ SD 形式に整えた。これをもとに官能検査を行った結果、劣化構造物に対する非専門家（116 名）の心理構造は安全性因子、審美性因子、劣化範囲因子の 3 因子に分解された。また、専門家（3 名）の心理構造については、安全性因子、審

表 1 アイテム・カテゴリー表

アイテム	カテゴリー	コード	アイテム	カテゴリー	コード
劣化面積	0~20%	1	構造物種類	橋	1
	21~40%	2		擁壁	2
	41~60%	3		建築物	3
	61~80%	4	劣化形態	鉛直ひび割れ	1
	81~100%	5		亀甲状ひび割れ	2
劣化部材	橋脚・橋台	1		斜めひび割れ	3
	柱・梁	2		水平ひび割れ	4
	壁面	3		剥離・剥落	5
	その他	4		断面欠損・鉄筋露出	6
	~45	1		その他(コールドジョイント等)	7
変色	45~50	2	劣化作用	ASR	1
	50~55	3		中性化	2
	55~60	4		塩害	3
	60~65	5		凍害	4
	65~70	6		その他(外力等)	5
	70~	7		複合劣化	6

表 2 評価形容詞対 (10 対)

劣化結果(ひび割れ、錆汁等)の程度が重度である	—	重度でない
安全性:安全である	—	安全でない
補修又は補強の緊急性:緊急である	—	緊急でない
機能性:機能性上好ましくない	—	好ましい
耐久性:耐久性上好ましい	—	好ましくない
(見た感じ)構造物が汚れている	—	汚れていない
(見た感じ)清潔である	—	清潔でない
器械調査の必要性:必要がある	—	必要がない
補修又は補強のコスト:費用が高そうである	—	高そうでない
補修又は補強後のメンテナンスの必要性:必要がある	—	必要がない

美性因子、劣化要因因子となった。つまり、表面劣化に対する評価構造は両被験者ともに等しく安全性、審美性を中心とした判断がなされることが理解できた。また、評価と劣化特性との対応から、劣化判断の際、両被験者ともに構造物種類、変状及び劣化面積が特に重要となることが理解できた。

3.2 実験概要

3.2.1 評価対象

上記事前調査を踏まえ、劣化の度合いを示す要素を、劣化面積、劣化部材、変色、構造物種類、劣化形態及び劣化作用の 6 アイテムとし、それぞれ表 1 に示すカテゴリー分類を行った。ここで、ひび割れについては、各写真において被写体との距離が把握し得なかったことから、ひび割れ幅までは理解できず、面積及び形態によりその特徴を把握した。劣化機構については、文献に記された損傷・劣化機構(原因)を採用し、アルカリ骨材反応(ASR)、中性化、塩害、凍害、その他(外力等の単独劣化)及び複合劣化を対象とした。なお化学的侵食については事例が少数であったことから「その他」に含めて考察を行った。これをもとに劣化特性を把握し、代表的もしくは特徴ある劣化要素の写真 47 枚を抽出した。

3.2.2 評価感性

事前調査及びこれまでの感性工学的研究を参考に、両被験者において、それぞれ各因子ごとに強く影響する形容詞を選定した結果、劣化構造物を評価する形容詞(感性)は両者同一の 10 対となった(表 2)。ここで、作成した SD 尺度は評価者(被験者)が構造物表面の変状を判断しやすいように「安全である」に相対する言葉として「安全でない」といったような否定語を選定した。

3.2.3 被験者

コンクリート構造物表面の変状を判断し得る専門家として、建設系コンサルタント、ゼネコン、研究所及び大学関係で構造物の劣化評価年数が 1~15 年の 16 名を

選定した。また、非専門家として、大学院生、大学生及び一般の成年男女 50 名(主として 20~24 歳)を選定した。

3.2.4 多変量解析

両被験者それぞれにおいて、劣化構造物に対する心理構造を明確化するため、官能検査の結果をもとに因子分析(バリマックス回転)を行った。続いて、劣化及び美観評価に強く影響する(劣化)変状の把握を行うためコレスポンデンス分析を行った。

§ 4 結果及び考察

4.1 構造物の変状に対する心理構造

専門家の因子負荷量の結果を表 3 に示した。心理構造は累積寄与率 82.0%より 2 軸に要約された。第 1 因子(寄与率:61.2%)は「補修又は補強が緊急である」、「安全でない」などの言葉で構成されており、これを安全性のなかでも「緊急保全因子」と命名した。第 2 因子(寄与率:20.8%)は「清潔でない」、「汚れている」で構成され、審美性のなかでも「美観劣化因子」と命名した。

非専門家の分析結果を表 4 に示す。心理構造は累積寄与率 94.8%より 2 軸に要約された。各軸を構成する評価形容詞対は、因子負荷量に多少の差はあるものの専門家と同一となることが把握でき、第 1 因子(寄与率:68.5%)、第 2 因子(寄与率:26.3%)をそれぞれ専門家結果と同様に「緊急保全因子」及び「美観劣化因子」と命名した。

以上、両被験者ともに高い信頼度であり、劣化コンクリート構造物に対する評価軸は、安全性のなかでも「緊急保全度」、審美性のなかでも「美観劣化度」の 2 因子で構成されることが理解できた。したがって、劣化コンクリート構造物を評価する際、個人的基準の入り込まない共通の感性として、この 2 因子を考慮すればよいと考えられた。

表 3 因子負荷量 (専門家)

変数名	因子No. 1	因子No. 2
補修又は補強が緊急である	0.9635	0.1787
安全でない	0.9296	0.1857
補修又は補強のコストが高そうである	0.9162	0.1502
劣化結果の程度が重度である	0.9002	0.2580
機能性上好ましくない	0.8917	0.1568
耐久性上好ましくない	0.8644	0.2155
補修又は補強後のメンテナンスの必要がある	0.8111	0.2156
器械調査の必要がある	0.6348	0.0951
(見た感じ)清潔でない	0.2165	0.9699
(見た感じ)構造物が汚れている	0.1705	0.9247
寄与率	61.21%	20.78%
累積寄与率	61.21%	81.99%

表 4 因子負荷量 (非専門家)

変数名	因子No. 1	因子No. 2
補修又は補強が緊急である	0.9504	0.2882
安全でない	0.9364	0.3033
補修又は補強後のメンテナンスの必要がある	0.9180	0.2957
耐久性上好ましくない	0.9108	0.3625
機能性上好ましくない	0.9091	0.3723
劣化結果の程度が重度である	0.8964	0.4011
補修又は補強のコストが高そうである	0.8835	0.2926
器械調査の必要がある	0.8757	0.3248
(見た感じ)構造物が汚れている	0.3101	0.9436
(見た感じ)清潔でない	0.3503	0.9242
寄与率	68.49%	26.29%
累積寄与率	68.49%	94.78%

4.2 構造物評価に及ぼす劣化機構の影響

劣化構造物の評価に対する因子構造が判明したので、各サンプルにおける因子得点の推定を行った。専門家の散布図を図2に示した。ここで、横軸(X軸)は緊急保全因子、縦軸(Y軸)は美観劣化因子である。横軸の正の値は“保全の緊急性”を示し、縦軸の正の値は“美観上の劣化度”を示している。

横軸の正のエリア(第1, 第4象限)より、保全の緊急性が大であると専門家が判断した劣化現象は、落石による衝撃荷重(No.39)、土圧による過大荷重(No.31)によるものなどであり、また、美観劣化(第1, 第2象限)と判断したのは、温泉水による化学的侵食(No.32)、ASR(No.8)、凍害(No.22)によるものなどであった。

なかでも、専門家が両因子ともに問題(第1象限)となる劣化機構と判断したのは、凍害(No.22)であった。一方、両因子とも問題とはならない(第3象限)と判断したのは、コールドジョイント(No.37)、水和熱(No.34)などによる劣化現象であった。

また、専門家による複合劣化の判断は、第1, 2及び4象限のいずれかに位置し、安全性もしくは審美性のどちらかに問題があると判断された。

非専門家における各サンプルの散布図を図3に示した。この結果より、非専門家は、落石による衝撃荷重(No.39)、中性化(No.13)などによる劣化現象を緊急保全上問題であると判断しており、美観劣化と判断したのは、塩害と凍害による複合劣化(No.46)、凍害とその他による複合劣化(No.45)、ASR(No.8)、温泉水による化学的侵食(No.32)などの劣化現象であった。

両因子ともに影響されるのは、土圧による過大荷重

(No.30)などであり、逆に両因子ともに影響しないと判断したのは、コールドジョイント(No.37)、水和熱(No.34)、中性化(No.11)などによる劣化であった。

以上の結果、劣化構造物の評価において、「緊急保全度」、「美観劣化度」それぞれに影響する劣化機構特性が把握され、なかでも特に問題となる劣化現象は、両被験者ともに凍害を起因とするものであることが理解できた。

また、非専門家による複合劣化の判断は、第1, 2及び3象限のいずれかに位置し、特に審美性に問題があると判断された。

4.3 劣化評価に及ぼす影響

各評価感性に対する変数間の差や類似性を把握するために各サンプルのポジショニングを求め、感性と各サンプル間の距離の把握を行った。紙面の都合上、ここでは緊急保全因子に相当する感性ワードから代表的ワードを1つ取上げて説明する。

専門家及び非専門家それぞれにおいて、評価感性「補修又は補強が緊急である」に対する(劣化)変状の距離を構造物の種類別に図4に示した。ここで、横軸は距離を示し、その値が小さい(図の左側)ほど“補修等が緊急である”ことを示している。橋梁に対する評価結果より、専門家においては水平ひび割れ(No.14)、亀甲状ひび割れ(No.42)が、また、非専門家においては断面欠損・鉄筋露出(No.19)、水平ひび割れ(No.14)、剥離・剥落(No.20)が特に補修又は補強が緊急であると判断された。擁壁に対して特に補修又は補強が緊急であると判断されたものは、両被験者ともに、斜めひび割れ(No.5, No.30, No.31)によるものであった。建築物

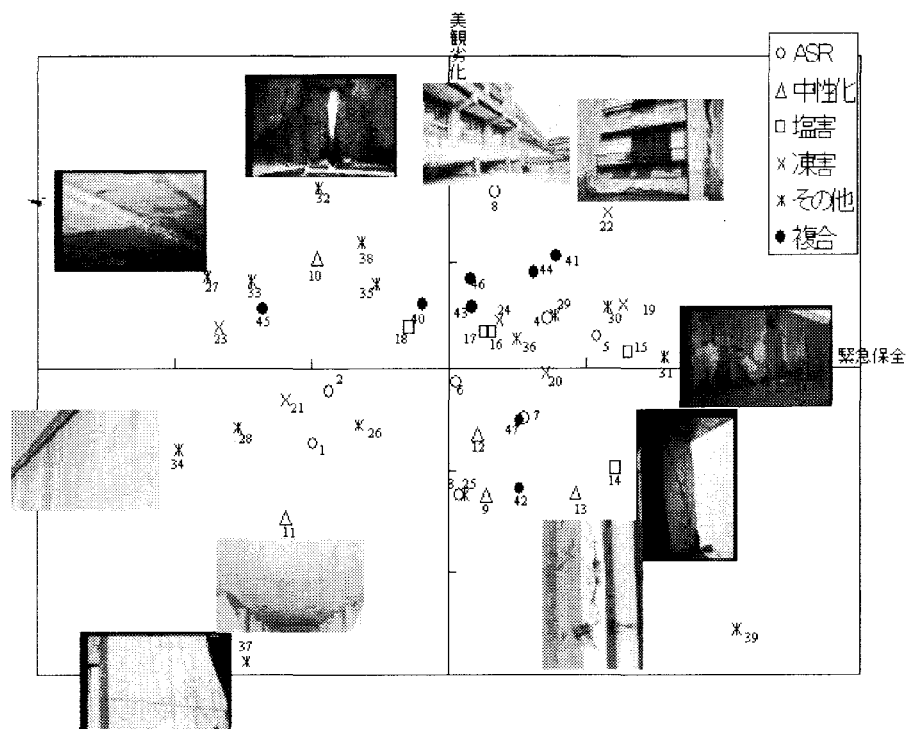


図2 因子得点散布図（専門家）

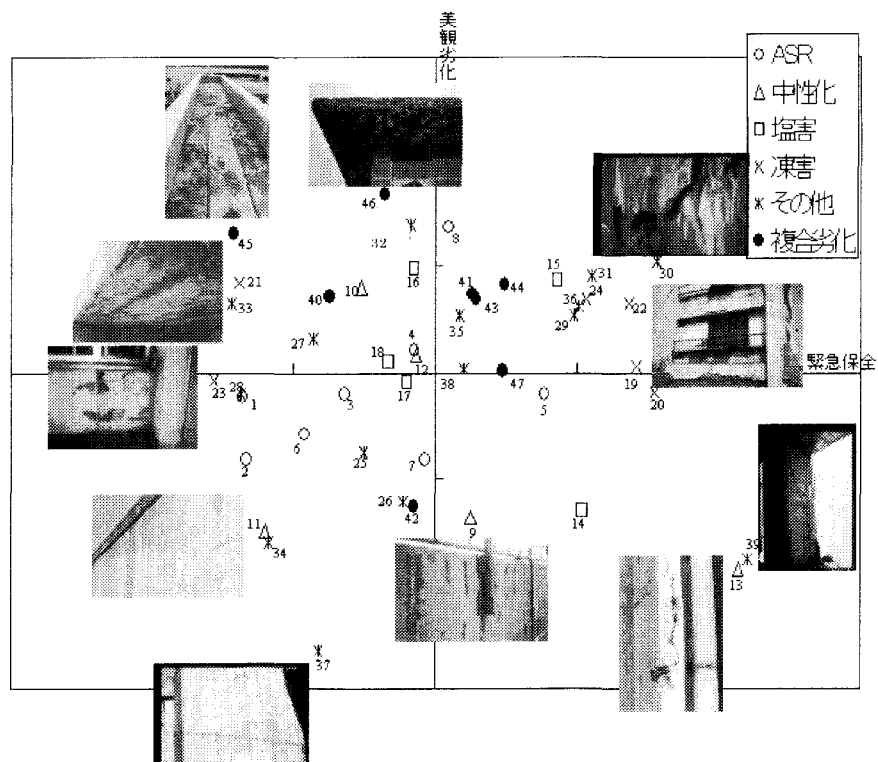


図3 因子得点散布図（非専門家）

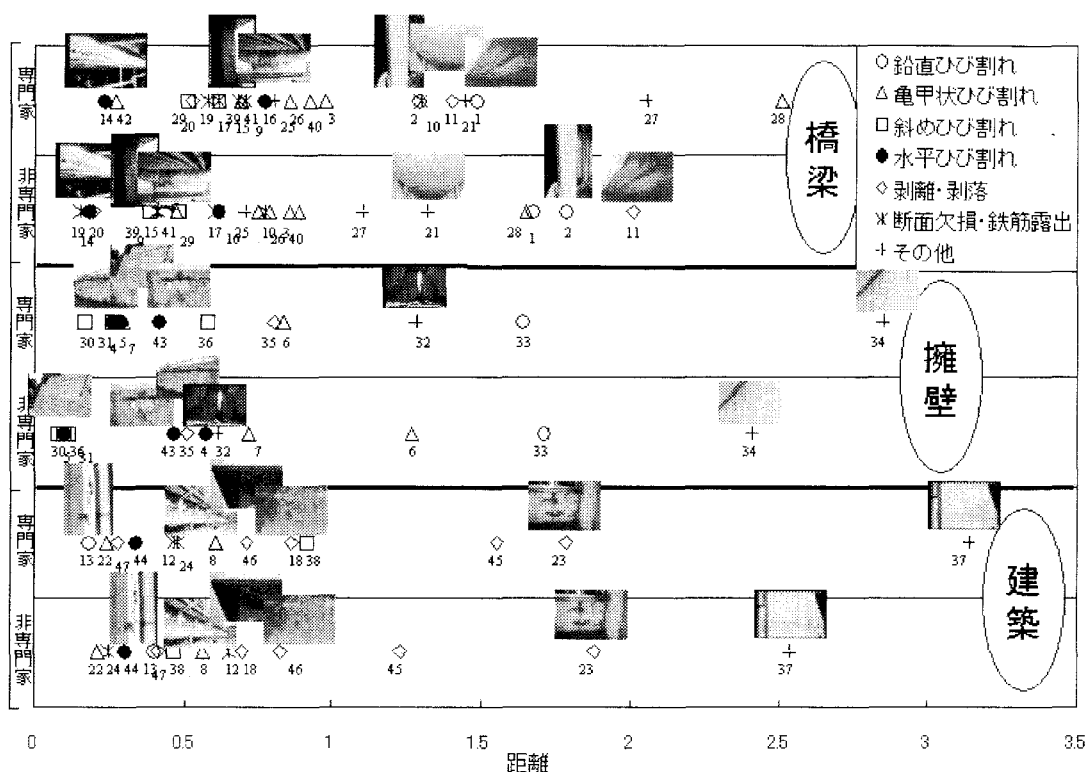


図4 評価と変状の類似性 (補修又は補強が緊急である)

の評価においては、専門家は、鉛直ひび割れ (No.13)、亀甲状ひび割れ (No.22)、剥離・剥落 (No.47)、水平ひび割れ (No.44) が、また、非専門家については、亀甲状ひび割れ (No.22)、断面欠損・鉄筋露出 (No.24)、水平ひび割れ (No.44) が特に補修又は補強が緊急であると判断された。

以上の結果、「補修又は補強が緊急である」という評価感性に直接影響する (劣化) 変状は、両被験者ともに、斜め及び水平方向のひび割れ、断面欠損・鉄筋露出であることが理解できた。

§ 5 まとめ

コンクリート構造物の表面変状が視覚評価に及ぼす影響をまとめると以下ようになる。

- 1) コンクリート構造物の表面劣化を評価する際、共通的な判断指標として、専門家、非専門家ともに「緊急保全度」、「美観劣化度」の2因子で判断される。
- 2) 表面劣化を生じたコンクリート構造物の評価において、専門家、非専門家ともに凍害を起因とする劣化現象は、「緊急保全度」、「美観劣化度」とともに問題となることが理解できた。
- 3) 複合劣化の現象は、専門家が安全性・審美性に影響

し、非専門家が特に審美性に問題があると判断された。

- 4) 「補修等が緊急である」という評価感性に直接影響する変状として、専門家、非専門家ともに、斜めひび割れ及び水平方向のひび割れ、断面欠損・鉄筋露出が挙げられた。

以上の結果、今後は構造物の劣化現象を定量・定性の多方面から把握するとともに視覚評価と劣化現象との対応が必要となる。また、視覚評価を各種非破壊及び破壊検査結果と組み合わせることで、視覚評価 (診断) はより有効な劣化判断指標となり得ることが期待される。

参考文献

- 1) (社) 日本コンクリート工学協会：複合劣化コンクリート構造物の評価と維持管理計画に関する研究委員会報告書、2001.3
- 2) 島谷幸宏編：河川風景デザイン、pp. 1-8、山海堂、1994
- 3) 日本コンクリート工学協会編：コンクリート構造物の劣化及び補修事例集、日本コンクリート工学協会編、1996
- 4) 日本建築学会北海道支部材料施工専門委員会編：建築材料の凍害調査研究委員会報告書、日本建築学会、1996
- 5) 例えば、魚本健人ほか：コンクリート構造物の非破壊検査、森北出版、pp4-26、1990

指向性音源に対する吸音衝立の減音効果について

(建築学科) 藤 井 健

(“) 緒方信一郎

On the Noise Reduction Effects of Sound Absorbing Surface close to the Directional Sound Source

(Department of architecture) Takeshi FUJII and Shinichiro OGATA

Abstract

We have studied on the sound pressure levels (SPL) in the room which has the sound absorbing surface near the sound source in it. In this report, the noise reduction effects of the sound absorbing surface and directional sound source facing each other are investigated. And the following properties of SPL in the room became evident after this study :

- 1) The noise reduction effects of the absorbing surface for the directional sound source are greater than those for the non-directional source.
- 2) The effective usage of the absorbing surfaces is that the surface should be in the direction of the strongest sound power and should be placed very close to the source.

Key Words : noise reduction effect, directional sound source, absorbing surface, room acoustics

減音効果、指向性音源、吸音衝立、室内音響

§ 1 はじめに

周知のように室内で発生する騒音の防止設計の基本は、①騒音発生パワーの低減、②吸音による室内騒音レベルの低減、③建屋の遮音力の増大等である。吸音材による室内騒音レベルの低減は吸音力によって決定され、吸音力を上げるためには使用する吸音材の表面積を大きく確保する必要がある。

これまで室内音響の解析において、音源の指向性を考慮したものは少なく、無指向性音源であるという仮定のもとで研究されてきたものが多い^{1)~5)}。しかし、現実の全ての音源は指向性を持っており、ある意味で無指向性音源は理想的状態であり、実際には存在し得ないものである。

これまでの筆者らの研究もこれらと同様に、音源を無指向性と仮定して、音源近くに置かれた吸音衝立が室内

騒音レベルの低減にどの程度の効果を有するかについて考察してきた。具体的には、音源に対する吸音衝立の配置を変えて音源から吸音面を見込む立体角を変化させ、また室内表面平均吸音率を変えた場合の吸音衝立の減音効果を計算⁶⁾と実験⁷⁾により検討してきた。その結果、室内表面平均吸音率が低く、音源から見た吸音衝立の立体角が大きい位置に衝立を配置した場合に減音効果が大きくなることが確かめられた。もし音源に指向性があれば、指向性の強い方向に吸音衝立を設置する場合が指向性の弱い方向に設置する場合より減音効果は更に大きくなることは十分推測されることである。

今回報告するものは、指向性音源と無指向性音源について、吸音衝立の減音効果の違いを計算結果から考察したものである。指向性音源の場合は指向性が強い方向に吸音衝立を置けば減音効果が相当大きくなり、弱い方向

に置けば減音効果が若干落ちることが確かめられた。

§ 2 計算式の導出

指向性を持つ音源のパワー $W(w)$ は図-1のように θ 、 ϕ 方向、距離 d の点の音の強さを $I_{\theta\phi}$ として $d\omega$ を微小立体角とすれば(1)式で表される。

$$W = \int I_{\theta\phi} d^2 d\omega \quad (1)$$

実際には立体角をいくつかの $\Delta\omega$ に分割し、近似的に(2)式で表される。

$$W = \sum I_{\theta\phi} d^2 \Delta\omega \quad (2)$$

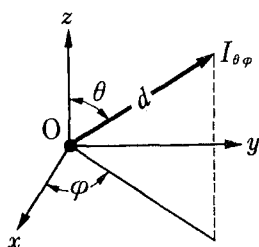


図-1 音源指向性を示す座標

今音源から発している直接パワーのうち、吸音衝立に直接入射するパワー W_0 は(3)式で表される。

$$W_0 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (I_{ij} d^2 \Delta\omega_{ij}) \quad (3)$$

ここに I_{ij} は吸音衝立を $m \times n$ 個に分割したときの i 、 j 方向の音の強さであり、 $\Delta\omega_{ij}$ は音源から i 、 j 方向を見たときの吸音衝立の立体角である。一方吸音衝立以外の室内表面に入射する直接パワーは全パワー W から吸音衝立に入射するパワー W_0 を差し引いたものである。

これらの直接パワーに対するそれぞれの反射率を掛けた一次反射パワーは W_ω は(4)式で表される。

$$W_\omega = W_0 r_0 + (W - W_0) r \quad (4)$$

ただし、 r_0 は吸音衝立の反射率、 r は室内表面の平均反射率である。

文献6)より、無指向性点音源が室内にある場合の室内エネルギー密度 E_n は(5)式で示される。

$$E_n = \frac{1}{v} \left\{ \frac{p}{c} W + \frac{p}{c} W r_d + \frac{p}{c} W r_d r + \frac{p}{c} W r_d r^2 + \dots \right\} \quad (5)$$

ここで(4)式で示される音源の指向性を考慮した一次反

射パワー W_ω を導入して、指向性音源に吸音衝立が向かい合わせになっている場合の室内エネルギー密度 E_n を求めると(6)式となる。

$$E_n = \frac{1}{v} \left\{ \frac{p}{c} W + \frac{p}{c} W_\omega + \frac{p}{c} W_\omega r + \frac{p}{c} W_\omega r^2 + \dots \right\} \\ = \frac{1}{v} \left\{ \frac{p}{c} W + \frac{p}{c} W_\omega \frac{1}{1-r} \right\} \quad (6)$$

ここに

V : 対象室の容積 (m^3)

c : 音速 (m/s)

p : 平均自由経路 ($= 4V/S$)

W : 音源の音響出力 (w)

r : 室内平均反射率 ($= (r_s S + r_0 S_0) / (S + S_0)$)

S : 対象室の表面積 (m^2)

S_0 : 吸音材の表面積 (m^2)

§ 3 計算結果

3.1) 計算条件

計算に使用した指向性音源は実験に使用する予定のホーンスピーカー (TOA, TH-45L+TU-25L) で、無響室内でオクターブバンドの指向特性を計測した結果は図-2に示すようになっている。計算にはこのボーラー図から 5° 毎に角度別の音の強さのバンドレベルを読み取って使っている。今回は最も指向性強いホーンスピーカー正面方向 (0° 方向) と、弱い背面方向 (180° 方向) について計算している。

また、計算に使用した部屋は呉高専の簡易残響室で、寸法 $7,500 \times 5,100 \times 3,300mm$ 、容積 $125.06m^3$ 、表面積 $167.97m^2$ である。残響室法吸音率は空室で0.5、1K、2K、4KHzを中心周波数とするオクターブバンドで0.04、0.04、0.05、0.08

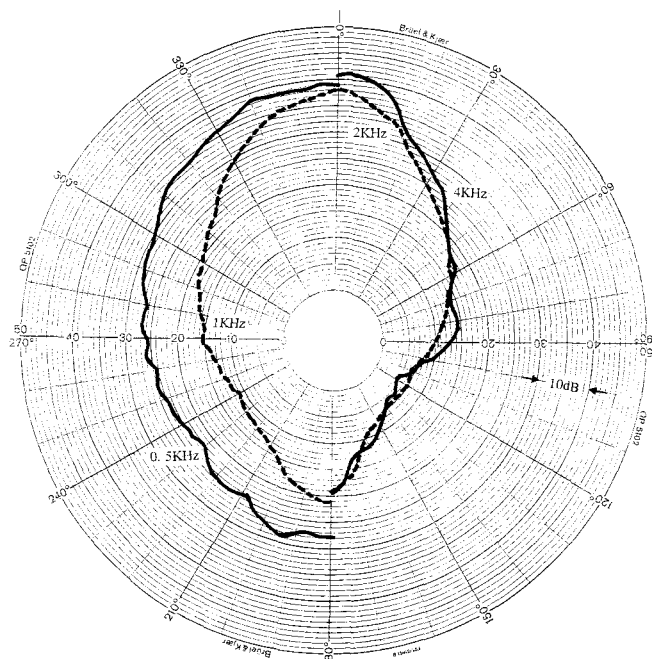


図-2 ホーンスピーカーの指向特性

でこの状態を「吸音小」と定義した。室内にウレタンフォームをランダムに貼り付けた「吸音中」の状態の吸音率はそれぞれのバンドで 0.18、0.24、0.24、0.25、「吸音大」の状態では 0.31、0.37、0.38、0.40 である。

吸音衝立は寸法 1,300 × 1,300mm の 12mm 厚合板製で表面に 50 mm 厚のウレタンフォームを貼り付けたものとしており、この吸音材の垂直入射吸音率は実験から各バンドで 0.77、0.79、0.81、0.92 であった。

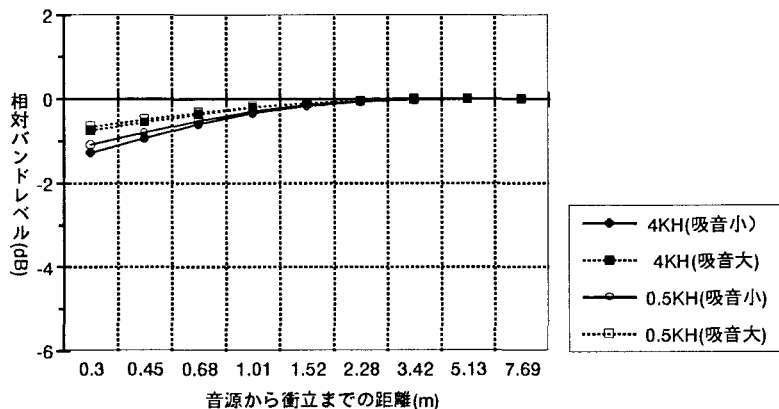


図-3 無指向性音源の場合の減衰量 (dB)

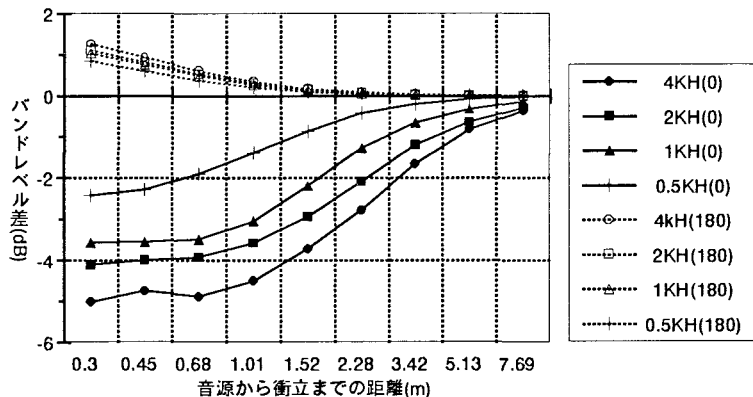


図-4.1 音源の違いによるレベル差 (dB) (吸音小)

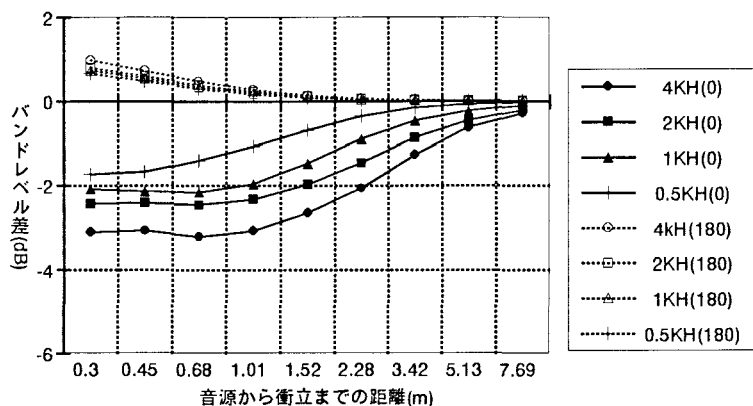


図-4.2 音源の違いによるレベル差 (dB) (吸音中)

3.2) 計算結果

文献 6) に示した無指向性音源に対する吸音衝立による減音効果の計算方法を使って、0.5KHz と 4KHz について前記の計算条件で計算したバンドレベルと、通常の拡散音場理論に基づく計算方法によるバンドレベル計算結果との差を図-3に示している。図-3を見ると音源と衝立の距離が近づくに従って通常の拡散音場理論による計算結果比べて 1 dB 前後減音効果が増えていることが分かる。

次に指向性音源について、吸音衝立を音源の正面方向 (0° 方向) に設置した場合と背面方向 (180° 方向) に設置した場合の計算結果を「吸音小」、「吸音中」、「吸音大」についてそれぞれ図-4.1、図-4.2、図-4.3に示す。

いずれの図も横軸は音源中心から吸音衝立までの距離を表し、縦軸は図-3に示した無指向性音源の場合の減音量から指向性音源の場合の室内バンドレベル減音量を差引いたバンドレベル差を表している。図中の実線は、衝立が音源正面方向 (0°) の指向性の強い方向に設置されたときの減音量を示し、点線は音源の背面方向 (180°) の指向性の弱い方向に設置した場合である。

§ 4 考察

4.1) 指向性の影響

図-4.1、4.2、4.3いずれを見ても、点線はプラス側、実線はマイナス側にある。つまり、指向性が強い方向に吸音衝立があれば無指向性音源の時に比べて減音量が増加し、弱い側にあれば減音量が減少することが分かる。無指向性音源の場合では、減音量は音源と衝立間が 0.3 m のときでもわずかに 1 dB 前後しかなかったが、指向性音源では相当の減音量が見込まれることが分かる。

4.2) 室内吸音率の影響

図-4.1は「吸音小」、図-4.2は「吸音中」、図-4.3は「吸音大」であるが、室内吸音率が小さいときの方が減音効果は大きく出る傾向が見られる。このことは無指向性音源を使って考察した文献 3) や 4) でも指摘したことであり、指向性音源の場合も全く同様な結果が得られた。また各図とも周波数によって減音量が異なるが、これは周波数によって音源の指向性が異なり、吸音衝立の吸音率及び室内吸音率が異なることによるものであり、波長等の影響によるものではない。

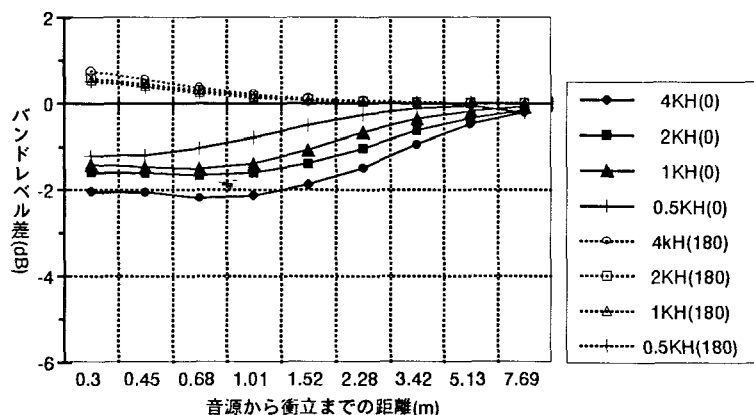


図-4.3 音源の違いによるレベル差(dB) (吸音大)

4.3) 音源と衝立間の距離の影響

これまでの研究結果から、図-3を見ても分かる通り、無指向性音源の場合は音源から衝立が少し離れると立体角が減少し、減音効果が直ぐに失われることが分かっていた。しかし、指向性音源の場合は音源と衝立間の距離が離れると立体角の減少は勿論あるが、指向性が強いいため吸音衝立に入射する直接パワーはそれ程減少しないと考えられる。このため減音効果はあまり下らず、今回の計算例では1～1.5m離れてもなお2～5dBの減音効果が見られた。

§ 5 まとめ

以上の考察から次に述べる事が明らかとなった。

1) 指向性が強い方向に吸音衝立があれば無指向性音源の時に比べて減音量が増加する。

計算例による無指向性音源の場合では、減音量は音源と衝立間が0.3mのときでもわずかに1dB前後しかなかったが、指向性音源では最大5dBの減音効果があった。

2) 指向性の弱い方向に吸音衝立がある場合は、音源に吸音衝立が近い程無指向性音源の時に比べて減音量が減少する。

3) 室内表面の吸音率が小さい場合の方が大きい場合に比べて減音量は増大し、これまでの研究結果と同じ結論が確認された。

4) 指向性音源の場合、音源と衝立間の距離が離れると立体角は減少するが、指向性が強いいため吸音衝立に入射する直接パワーはそれ程減少せず、減音効果は無指向性音源の場合のように急激には下らない。今回の計算例では1～1.5m離れてもなおかなりの減音が見られた。この結果はこれまでにない新たな知見であり、指向性音源に対する吸音衝立の減音効果の有効性を示唆するものである。

今後は、今回の研究から得られた結論を実験によって検証する予定である。

参考文献

- 1) 藤井、緒方、木村；『COUPLED ROOMの音響エネルギー密度』(1983.2、呉高専研究報告第18巻2号)
- 2) 藤井；『結合面が床と壁に接しているときの平均音圧レベル(1)』(1988.10、日本音響学会講演論文集)
- 3) 藤井；『結合面が床と壁に接しているときの平均音圧レベル(2)』(1988.10、日本音響学会講演論文集)
- 4) 藤井、緒方、関根；『残響波形に及ぼす音源位置の影響について(1)』(1989.10、日本建築学会大会学術講演梗概集)
- 5) 藤井、緒方、関根；『残響波形に及ぼす音源位置の影響について(2)』(1989.10、日本建築学会大会学術講演梗概集)
- 6) 藤井；『室内に音源近くに配置した吸音面による減音について』(1995.8、日本建築学会大会学術講演梗概集)
- 7) 藤井、緒方；『室内に音源近くに配置した吸音面の減音効果に関する実験』(1999.9、日本建築学会大会学術講演梗概集)

建築部品におけるユニバーサルデザインの基礎的研究 — プッシュプルハンドルの断面形態について —

(建築学科) 緒方信一郎, 藤井健

On the Basic Study for Universal Design of Building Parts — On the Section Form of push-pull handle —

(Department of Architecture) Shinichiro OGATA and Takeshi FUJII

Abstract

A human being is using many building parts in the act that it lives. But, it is a little present condition that there is with the building part designed in the base of the general idea of Universal design. So, we did old man's, adult's, child's door opening and closing experiment by using 21 kinds of section forms to examine the section form for most Universal design-like a push-pull handle as a door handle that to be easy to operate most.

Key Words : Universal design, Push-pull handle, Section Form, Ergonomics

ユニバーサルデザイン, プッシュプルハンドル, 断面形状, 人間工学

§ 1 はじめに

住むという行為の中で, 人間は多くの住宅部品を取り扱っている。高齢化社会を迎えた現在, 住宅部品には, 使用者にとって使いやすい位置や形状であることや無理のない力で操作できること等が求められている。しかし, 住宅部品の多くは心身とも健康で, 機能水準も高い成人の身体特性を対象に設定されており, すべての使用者に対して使いやすさを配慮した, ユニバーサルデザインによりデザインされた部品はまだ少ないのが現状であり, 開発が望まれている。

本研究においてはユニバーサルデザインの基礎研究として, 現在使用されているドアハンドルの中で, 最もユニバーサルデザイン的であると考えられる, プッシュプルハンドルの最適な断面形について, 考察をすることを目的としている。

§ 2 実験概要

2. 1 実験方法

断面形態○・□・△の3種類それぞれに, 断面径18mm・23mm・28mm・33mm・38mm・43mm・48mmのハンドル(写真1, 2, 3)を写真4に示すプッシュプルハンドル部分に取り付け, 被験者にドアを開閉してもらい, 表1に示す7段階評価のアンケートによる, 聞き取り調査を行った。

き取り調査を行った。

写真1 ○形態ハンドル

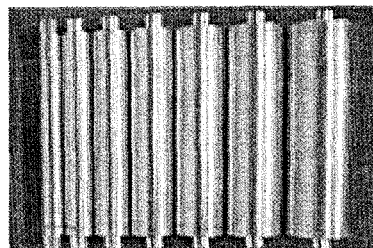


写真2 □形態ハンドル

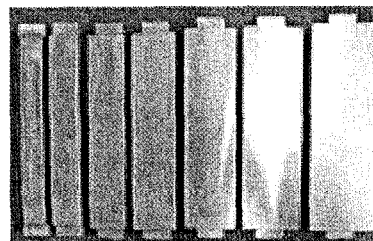


写真3 △形態ハンドル

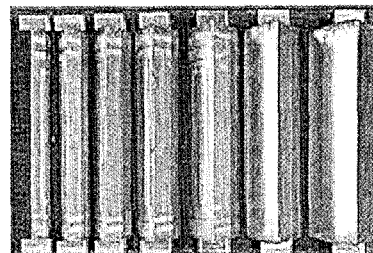


写真4 プッシュプルハンドルに取り付けたところ



表1 形態アンケート表

形態アンケート									
形態種類 (○ △ □)	実験日	月	日	氏名 ()					
性別 (男 女)	年齢 ()	歳		掌サイズ ()	cm				
ドアを開けるときの感じかたについてお答え下さい。									
1. ドアの取っ手を握った時									
	どちらとも								
握りやすい	非常に	かなり	少し	いえない	少し	かなり	非常に		握りにくい
握った手当たり感(手触り感)が良い	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	悪い
握った感じが快適	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	不快
握った感じがゴツゴツしている	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ゴツゴツしていない
握った感じが太い	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	細い
全般として握り感が良い	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	悪い
2. ドア取っ手を引いて開けた時									
	どちらとも								
開けるのが楽だ	非常に	かなり	少し	いえない	少し	かなり	非常に		楽でない
力を入れやすい	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	入れにくい
ドアを引くときに握った感触が良い	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	角張った感じ
3. ドア取っ手を握って押してドアを開ける時									
	どちらとも								
開けるのが楽だ	非常に	かなり	少し	いえない	少し	かなり	非常に		楽でない
力を入れやすい	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	入れにくい
押すときに握った感触がよい	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	角張った感じ
4. 総合的に									
取っ手として快適	非常に	かなり	少し	いえない	少し	かなり	非常に		不快
自宅に取り付けたい	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	取り付けたくない
安心感がある	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	安心感がない

2. 2 被験者属性

ドアを使用する年齢により、高齢者・成人・子供の3属性を被験者とした。各属性の被験者数、平均年齢、平均掌サイズを表2に示す。

表2 属性の被験者数と各平均値

属性	被験者数(名)	平均年齢(歳)	平均掌サイズ(cm)
高齢者	5(男5)	72.4	17.8
成人	10(男10)	19.2	18.75
子供	5(男3,女2)	8.6	14.06

§ 3 実験結果

図1～図15は、表1に示す形態アンケートの結果を各項目について、それぞれ右から1点・2点・3点・4点・5点・6点・7点とし、各属性ごとの平均評価得点を比較したものである。

3. 1 「ドアハンドルを握ったとき」について

3. 1. 1 「握りやすい」

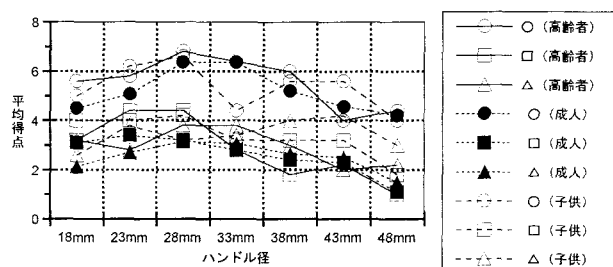


図1 「握ったとき握りやすい」

図1は「握りやすい」について属性の比較を行ったものである。

一般的に○形態の評価が高く、高齢者・子供は○28mm, 成人は○33mmを最も握りやすいと感じている。高齢者では○33mm, 成人では○28mm, 子供では○23mmの評価が2番目となっており、子供における○33mmの評価は6番目と低くなっている。

□形態, △形態は、全般に「どちらともいえない」か、それ以下であり、評価は低かった。

3. 1. 2 「手当たり感が良い」

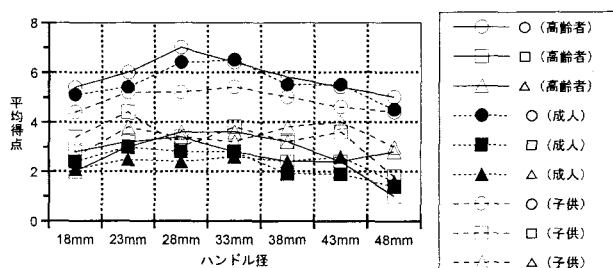


図2 「握ったときの手当たり感が良い」

図2は「握ったときの手当たり感が良い」について属性の比較を行ったものである。

一般的に○形態の評価が高く、高齢者は○28mm, 成人・子供は○33mmを最も手当たり感が良いと感じている。高齢者では○33mm, 成人では○28mm, 子供では○23mm・○28mmの評価が2番目となっている。

□形態, △形態は、全般に「どちらともいえない」か、それ以下であり、評価は低かった。

3. 1. 3 「握った感じが快適」

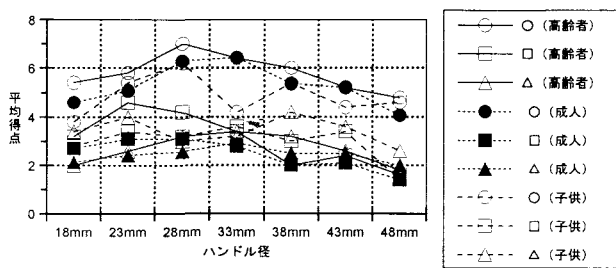


図3 「握った感じが快適」

図3は「握った感じが快適」について属性の比較を行ったものである。

全般的に○形態の評価が高く、高齢者・子供は○28mm、成人は○33mmを最も快適であると感じている。高齢者では○33mm、成人では○28mm、子供では○23mm・○38mmの評価が2番目となっている。また、子供における○33mmの評価は6番目と低くなっており、「握りやすさ」と同じ傾向を示している。

□形態、△形態は、全般に「どちらともいえない」か、それ以下であり、評価は低かった。

3. 1. 4 「握った感じがゴツゴツしている」

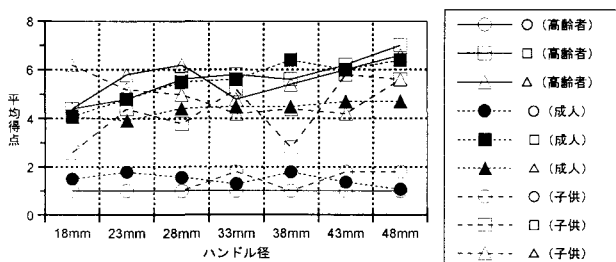


図4 「握った感じがゴツゴツしている」

図4は「握った感じがゴツゴツしている」について属性の比較を行ったものである。

高齢者・成人は□48mm、子供は△18mmを最もゴツゴツしていると感じている。高齢者・子供では□43mm、成人では□35mmの評価が2番目となっている。

高齢者・子供では、18mm～28mmまで□形態より△形態の方を、33mm～48mmまでは、△形態より□形態の方を、成人では、同径であっても△形態より□形態の方をゴツゴツしていると感じている。また、高齢者・子供は、□形態が、成人は□形態・△形態とも径が大きくなるにつれてゴツゴツ感が増す傾向にある。高齢者の△形態は、18mmから28mmゴツゴツ感が増し、33mmでいったん下がるが、33mm以降は右上がりになっている。子供の△形態は、鍋底型の評価になっている。

3. 1. 5 「握った感じが太い」

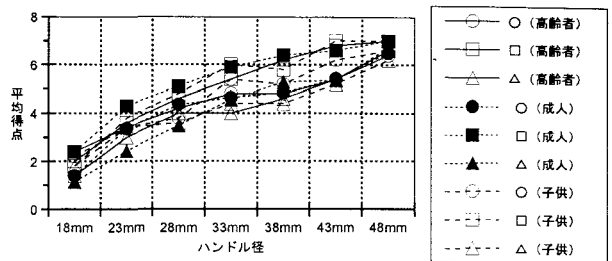


図5 「握った感じが太い」

図5は「握った感じが太い」について属性の比較を行ったものである。

○形態では、高齢者・成人が23mm～28mm、子供が28mm～33mmの間で太さを感じ始めている。□形態では高齢者・子供が23mm～28mmの間で、成人では18mm～23mmの間で太さを感じ始めている。△形態は、高齢者が33mm～38mm、成人・子供が28mm～33mmの間で太さを感じ始めている。また、属性全般的に同径であっても□形態を太く、△形態を細く感じている。

3. 1. 6 「全般として握り感がよい」

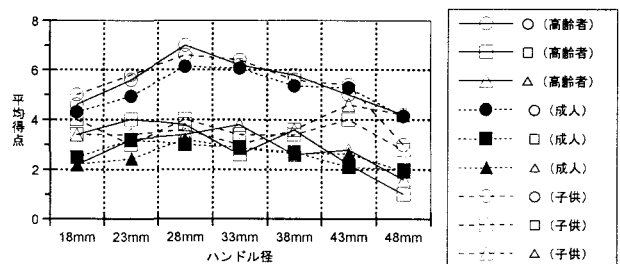


図6 「握ったとき全般として握り感がよい」

図6は「全般として握り感がよい」について属性の比較を行ったものである。

全般的に○形態の評価が高く、高齢者・成人・子供ともに○28mmの評価が最も高く、ついで○33mmとなっている。

□形態、△形態とも全般に「どちらともいえない」か、それ以下であり、評価は低かった。

3. 2 「引いて開けたとき」について

3. 2. 1 「開けるのが楽」

図7は「引いて開けたとき開けるのが楽」について属性の比較を行ったものである。

全般的に○形態の評価が高く、高齢者・成人・子供ともに○28mmの評価が最も高く、ついで○33mmとなっている。

□形態、△形態ともに成人の評価は低いですが、高齢者・子供における評価は、△18mm、□48mmを除き全般にが高かった。

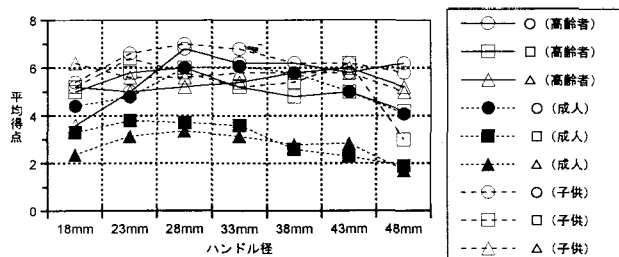


図7 「引いて開けたとき開けるのが楽」

3. 2. 2 「力が入れやすい」

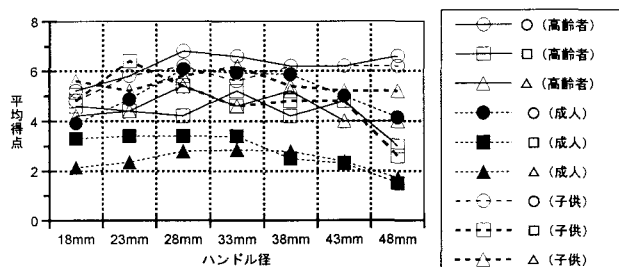


図8 「引いて開けたとき力が入れやすい」

図8は「引いて開けたとき力が入れやすい」について属性の比較を行ったものである。

全般的に○形態の評価が高く、高齢者・成人では、最も力が入れやすいのが○28mmであり、ついで○33mmとなっている。子供では、最も力が入れやすいのが□23mmであり、ついで○28mm・△33mmとなっている。形態、△形態ともに成人の評価は低いですが、高齢者・子供における評価は、△18mm、□48mmを除き全般にが高かった。

3. 2. 3 「握った感触がよい」

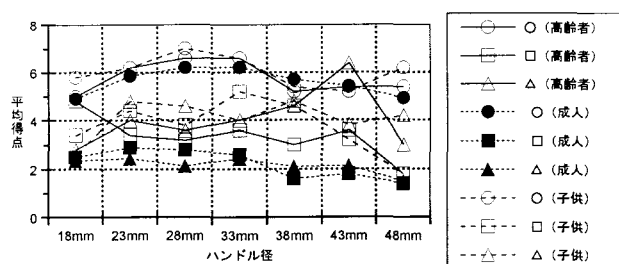


図9 「引いて開けたとき握った感触がよい」

図9は「引いて開けたとき握った感触がよい」について属性の比較を行ったものである。

全般的に○形態の評価が高く、高齢者・成人は○28mm、○33mm、子供は○28mmを最も握った感触がよいと感じている。高齢者では△43mm、成人では○23mm、子供では○33mmの評価が2番目となっている。

□形態、△形態は、高齢者の△43mmを除き、全般に評価は低かった。

3. 3 「押して開けたとき」について

3. 3. 1 「開けるのが楽」

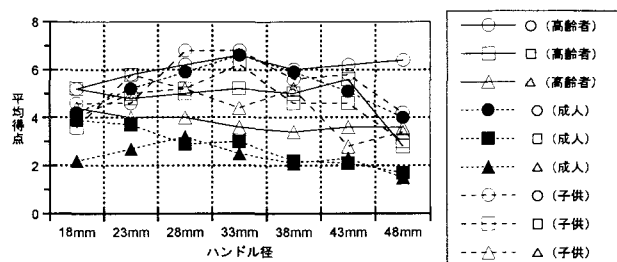


図10 「押して開けたとき開けるのが楽」

図10は「押して開けたとき開けるのが楽」について属性の比較を行ったものである。

全般的に○形態の評価が高く、高齢者・成人は○33mm、子供は○28mm・○33mmを最も開けるのが楽と感じている。高齢者では○28mm・○38mm、成人では○28mm・○43mm、子供では□33mmの評価が2番目となっている。

□形態、△形態ともに成人の評価は低いですが、高齢者では□形態、子供では□形態、△形態ともに評価が上がっている。

3. 3. 2 「力が入れやすい」

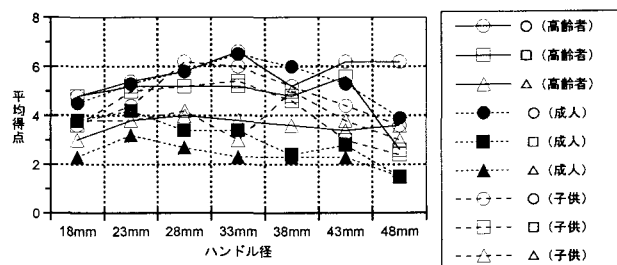


図11 「押して開けたとき力が入れやすい」

図11は「押して開けたとき力が入れやすい」について属性の比較を行ったものである。

全般的に○形態の評価が高く、高齢者・成人は○33mm、子供は○28mmを最も力が入れやすいと感じている。高齢者では○43mm・○48mm、成人では○38mm、子供では○33mmの評価が2番目となっている。

□形態、△形態の評価は全般的に低い、高齢者・子供においては、□形態の評価が上がっている。

3. 3. 3 「握った感じがよい」

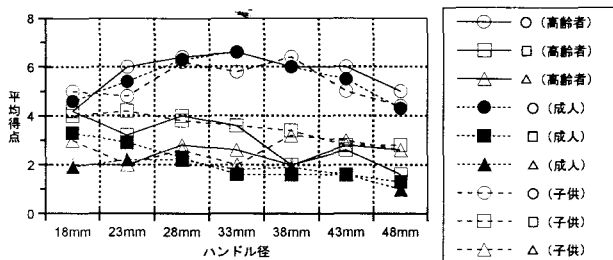


図 12 「押すとき握った感じがよい」

図 12 は「押すとき握った感じがよい」について属性の比較を行ったものである。

全般的に○形態の評価が高く、高齢者・成人は○33mm、子供は○38mmを最も握った感じが良いと感じている。高齢者・成人・子供とも○28mmの評価が2番目となっている。

□形態、△形態は、全般に「どちらともいえない」か、それ以下であり、評価は低かった。

3. 4 「総合的に」について

3. 4. 1 「取っ手として快適」

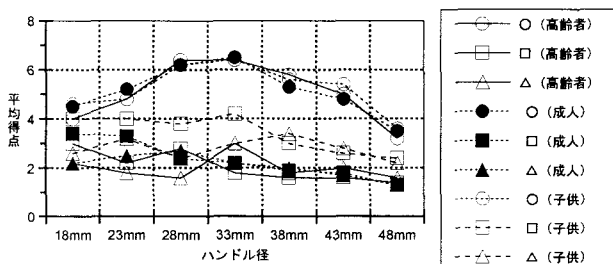


図 13 「総合的に取っ手として快適」

図 13 は「総合的に取っ手として快適」について属性の比較を行ったものである。

全般的に○形態の評価が高く、高齢者は○28mm・○33mm、成人・子供は○33mmを最も取っ手として快適であると感じている。高齢者では○38mm、成人・子供では○28mmの評価が2番目となっている。

□形態、△形態は、全般に「どちらともいえない」か、それ以下であり、評価は低かった。

3. 4. 2 「自宅に取り付けたい」

図 14 は「自宅に取り付けたい」について属性の比較を行ったものである。

高齢者・子供は○28mm、成人は○33mmを最も自宅に取り付けたいと感じている。高齢者・子供では○33mm、成人では○28mmの評価が2番目となっている。

□形態、△形態は、全般に「どちらともいえない」か、それ以下であり、評価は低く、○形態でも○28mm、○33mm以外は評価が低くなっている。

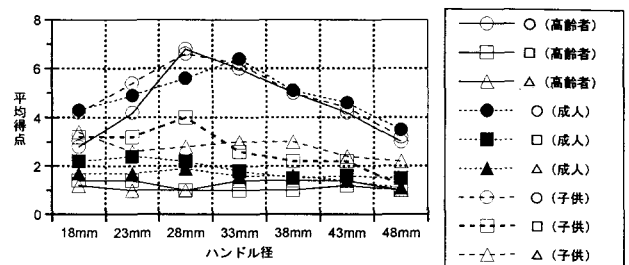


図 14 「自宅に取り付けたい」

3. 4. 3 「安心感がある」

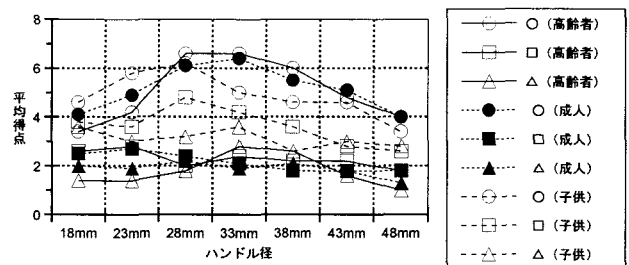


図 15 「総合的に安心感がある」

図 15 は「総合的に安心感がある」について属性の比較を行ったものである。

高齢者は○28mm○33mm、成人は○33mm、子供は○28mmを安心感があると感じている。高齢者では○38mm、成人では○28mm、子供では○28mmの評価が2番目となっている。

□形態、△形態は、全般に「どちらともいえない」か、それ以下であり、評価は低い。

§ 4 まとめ

4. 1 形態について

3種類の形態の中で、最も使いやすいハンドル形態を判断するために、アンケートの質問項目の「総合的に取っ手として快適」、「自宅に取り付けたい」、「総合的に安心感がある」において獲得した各形態の評価得点(63満点)の合計を表3、4、5および図16、17、18に示す。

図7、8、9、10に見られるように、属性別には若干□形態あるいは△形態が、○形態よりも高い評価を受

けている場合があるが、総合的に判断した場合の全ての質問項目において各形態、各径ごとに高齢者、成人、子供の評価を合計すると、○形態の全ての径が、30点以上

表3 「○形態における各径の合計評価得点」

	18mm	23mm	28mm	33mm	38mm	43mm	48mm
高齢者	10	13	20	19	17	14	10
成人	13	15	18	19	16	15	11
子供	13	16	19	18	15	14	10
合計	36	44	57	56	48	43	31

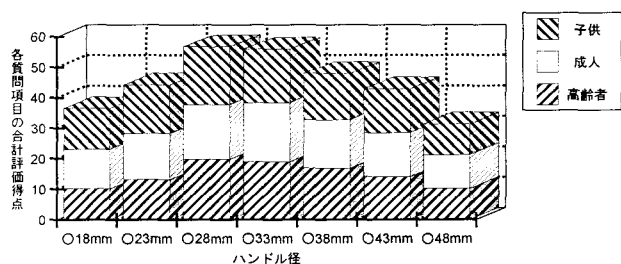


図16 「○形態の合計評価得点」

表4 「□形態における各径の合計評価得点」

	18mm	23mm	28mm	33mm	38mm	43mm	48mm
高齢者	7	6	6	5	5	5	4
成人	8	8	7	6	5	5	5
子供	11	11	13	11	9	8	6
合計	26	25	26	22	19	18	15

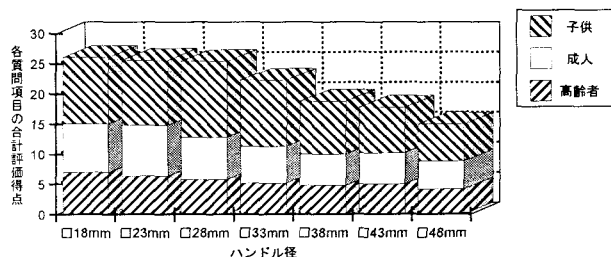


図17 「□形態の合計評価得点」

表5 「△形態における各径の合計評価得点」

	18mm	23mm	28mm	33mm	38mm	43mm	48mm
高齢者	5	4	4	7	6	5	4
成人	6	6	7	6	6	5	4
子供	10	9	8	10	9	8	7
合計	21	19	19	23	21	18	15

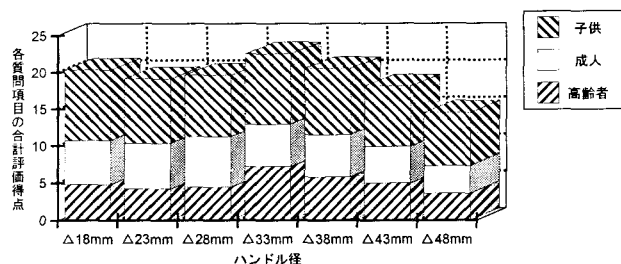


図18 「△形態の合計評価得点」

上の評価を受けているのに対し、□形態(26点)・△形態(23点)と最も高い評価を受けている得点が、○形態の最も低い評価をされている径よりも低くなっている。この結果から、ドアハンドルを握って開ける行為においては、○形態が最も適した形であると判断できる。また、図3に示すように同径であっても□形態が最も大きく感じ、△形態は最も小さく感じられることがわかった。

4.2 ハンドル径について

○形態の中で、最も使いやすいハンドル径を判断するために、アンケートの全質問項目(15質問・315点満点)で各径が獲得した評価得点を合計した。合計評価得点を表6および図19に示す。

表6 「○形態における各径の総得点」

	○18mm	○23mm	○28mm	○33mm	○38mm	○43mm	○48mm
高齢者	66	77	93	90	81	75	69
成人	62	72	85	89	78	72	58
子供	66	76	90	82	77	70	60
合計	194	226	268	261	237	217	187

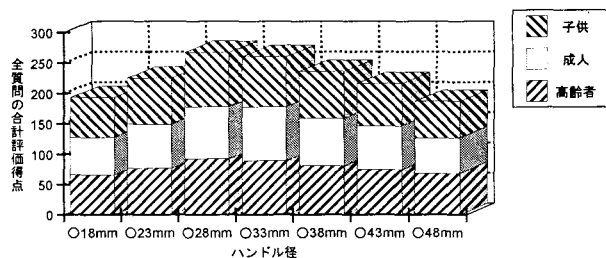


図19 「○形態における各径の総得点」

全体の中で最も高い評価を得た径は、28mm(268点)であった。7点差(261点)で33mmが続いており、他の径は、この2つの径から20点以上も離れている。

この結果から使いやすい径の大きさは、28mmと33mmに絞られると考えられるが、高齢者・子供は、28mmの径を、成人は、33mmの径をそれぞれ最適であると評価しており、28mmと33mmのそれぞれの評価得点差は、高齢者「4.6」、成人「3」、子供「5.8」と僅かであり、各設問項目別にその差を見ると成人では殆ど差が見られない。また、掌のサイズから考えると、最も大きい成人と子供の差は5cm弱もある。子供の33mmに対する評価が、38mmと比較して少し悪いのは疑問を感じるが、ユニバーサルデザインとして考えるならば28mmが、ハンドル径としては適当であると考えられる。

謝辞

実験にご協力いただいた被験者の方々、実験機材等にご協力いただいた YKK アーキテクチュラル プロダクツ株式会社の東谷、野村氏に深く感謝の意を表します。

建築部品におけるユニバーサルデザインの基礎的研究 — 玄関ドア通過時の平面動作スペースについて —

(建築学科) 緒方信一郎, 藤井健

On the Basic Study for Universal Design of Building Parts — On the plane movement space in the entrance door passage —

(Department of Architecture) Shinichiro OGATA and Takeshi FUJII

Abstract

A human being is using many building parts in the act that it lives. It is asking that it can be operated with the power which impossibility, being the position to meet an aging society and where it is easy to use for building parts for the user at present, and a form is not in. But, it is a little present condition that there is with the building part designed in the base of the general idea of Universal design. So, we did a door passage experiment. It is reported by the movement analysis when an old man, an adult, a child, a wheelchair pass through the door because it was examined about the necessary space when a door is opened and it passes.

Key Words : Universal design, Entrance door, Push-pull handle, Human body movement, Ergonomics

ユニバーサルデザイン, 玄関ドア, プッシュプルハンドル, 人体動作, 人間工学

§ 1 まえがき

住むという行為の中で, 人間は多くの住宅部品を取り扱っている。高齢化社会を迎えた現在, 住宅部品には, 使用者にとって使いやすい位置や形状であることや無理のない力で操作できること等が求められている。

筆者らは建築部品におけるユニバーサルデザインの基礎的研究として, 「玄関ドアハンドルの最適操作高」, 「ドアを引いて開ける場合の腕形状」について報告したが, 今回の研究では, ドア通過時の人体動作分析により, ドアを開けて通過する際に必要なスペースについて報告する。

ユプルハンドル使用した。また, 車椅子はN社製の幅 640mm, 長さ1000mm, 床から座400mm, 座から肘200mmを使用し, 被験者は健常者とした。

2. 2 被験者属性

被験者属性を表1に示す。

被験者は, 子供5名(男性2名, 女性3名)平均年齢8.2歳, 成人5名(男性4名, 女性1名)平均年齢26.4歳, 高齢者5名(男性5名)平均年齢72.8歳, 車椅子5名(成人男性5名)平均年齢28歳である。

表1 人体動作の被験者属性

	子供	成人	高齢者	車椅子
被験者数	5名	5名	5名	5名
(性別)	(男2, 女3)	(男4, 女1)	(男5)	(男5)
平均年齢	8.2歳	26.4歳	72.8歳	28歳

§ 2 実験概要

2. 1 実験方法

被験者に両肩・両肘・両手首・腰・両膝・両・足首にポイントをつけてもい, ドアを開けて通過している状態を上方と真横からVTRカメラで撮影し, 撮影したビデオから5つのポイント(スタート時点・開ける時点・ドア通過時・閉める時点・去る時点)についてデータを取り分析した。

実験に使用したドアは, 一般的に住宅に使用されている内法高2310mm, 内法幅900mm, 重量25kgのY社製の玄関アルミドアを使用し, ドアハンドルはプッシ

§ 3 結果および考察

図1～図8は, 平面動作スペースを考察するために, 属性ごとに被験者全員の通過状態をプロットしたものであり, 図に示しているグリッドは, 一辺30cmの正方形である。

3. 1 ドアを引いて開けた時の動作スペース

3. 1. 1 子供の平面動作スペース

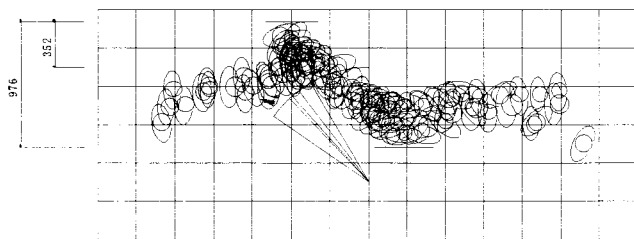


図1 引いて開けた時の子供の平面動作スペース

引いて開けた時の子供の平面動作スペースを図1に示す。

子供はスタートと同時にドアハンドルに向い真っ直ぐ移動している。ドアを開ける時点で、ドアに沿って回転し開けるパターン、ドアを後ろに下がりながら、あるいは横に移動しながら開けるパターンが見られ、ドアを開ける時点の平均踵位置は、520mmである。

通過時点では、ドアを前向き、あるいは横向き、あるいは後ろ向きで通過するパターンが見られ、後ろ向きで通過するパターンは前向き、横向きのパターンよりも開けた後の回転角度が大きい。通過後の体の回転方向は、前向きの場合は少し左に体が開き、横向きの場合は左に回転、後ろ向きの場合は右に回転している。被験者5名のドアを開け、通過し、閉めるまでの一連の動作位置を重ねてみると、スペースの幅は最低976mm、ドアの端から外側に最低352mmのスペースが必要である。また、ドアを開ける平均角度は、約41°であった。

3. 1. 2 成人の平面動作スペース

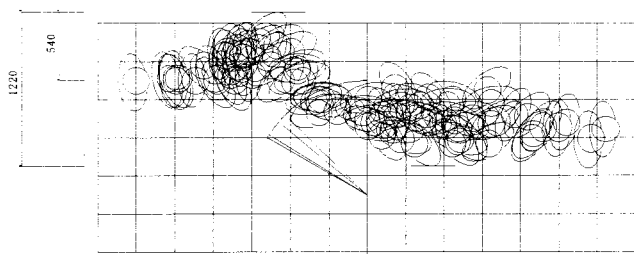


図2 引いて開けた時の成人の平面動作スペース

引いて開けた時の成人の平面動作スペースを図1に示す。

成人はドア枠の端から真っ直ぐドアハンドルに向かって移動している。ドアを開ける時点で、その場で回転するあるいは回転しながら移動しているパターンが見られる。また、ドアを開ける時点の平均踵位置は、920mmである。通過時点では、ドアに横向き、斜め向き、回

転しながらの3種のパターンが見られ。ドアを閉める時点では、少し後退するものと、後退していないパターンがみられた。被験者5名のドアを開け、通過し、閉めるまでの一連の動作位置を重ねてみると、スペースの幅は最低1220mm、ドアの端から外側に最低540mmのスペースが必要である。また、ドアを開ける平均角度は、53°であった。

3. 1. 3 高齢者の平面動作スペース

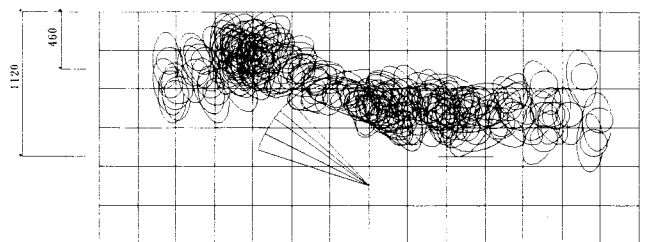


図3 引いて開けた時の高齢者の平面動作スペース

引いて開けた時の高齢者の平面動作スペースを図1に示す。

高齢者はドア枠より外側とドアノブの間からスタートし、ドアハンドルに向かって進んでいる。ドアを開ける時点では、あまり移動せずに回転しているパターン、ドアを横向き、斜め向き、回転しながら通過するパターンが見られ、ドアを開ける時点の平均踵位置は、900mmであった。ドア通過後、後ろに下がって閉めているパターン、通過後に身体がある程度斜めを向いて閉めているパターンが見られ、通過後の体の回転方向は、通過後に身体がある程度斜めを向いて閉めているパターンは少し左に、横向きの場合は左に回転しており、後ろ向きの場合、身体がドアに平行、あるいは下がって閉めた場合は右に回転している。被験者5名のドアを開け、通過し、閉めるまでの一連の動作位置を重ねてみると、スペース幅は最低1120mm、ドアの端から外側に最低460mmのスペースが必要である。また、ドアを開ける平均角度は約57°であった。

3. 1. 4 車椅子の平面動作スペース



図4 引いて開けた時の車椅子の平面動作スペース

引いて開けた時の車椅子の平面動作スペースを図4に示す。

車椅子はドア中央からスタートし、ドアの手前でドアハンドル側に約 45° 斜めに止まり、腕を伸ばしてドアを開けている。ドアを開ける時点の平均後輪位置は、 1400mm であった。通過する時点は、ドアに対して垂直に進入しており、ドア通過後、平均後輪位置が 712.5mm で、約 180° 回転してドアを閉めている。この時の回転方向は、個人によって様々であった。また、回転方法は、片輪を止めて回転するものと両輪を同時に回して回転しているものがあり、両輪を同時に回す方がスペースをとっていない。ドアを閉めた後、再び約 180° 回転して進行方向へ向かっている。被験者5名のドアを開け、通過し、閉めるまでの一連の動作位置を重ねてみると、スペース幅は最低 1840mm 、進行方向左ドアの端から外側に最低 620mm 、右ドアの端から外側に最低 320mm のスペースが必要である。また、ドアを開ける平均角度は 90° であった。

3. 2 ドアを押して開けた時の動作スペース

3. 2. 1 子供の平面動作スペース

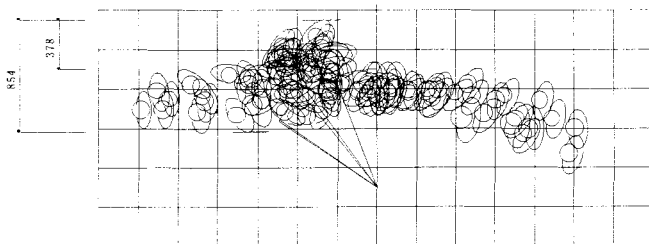


図5 押して開けた時の子供の平面動作スペース

押して開けた時の子供の平面動作スペースを図5に示す。

子供はスタート時点でドア枠内、若しくはドアハンドルの位置に立ち、スタートと同時にドアハンドルに向い真っ直ぐ移動している。ドアを開ける時点では、ドアに対し平行に身体があるパターン、ドアに対し斜めに身体があるパターンが見られ、ドアを開ける時点の平均踵位置は、 380mm であった。

通過時点では、ドアに平行のまま真正面に移動しているパターン、ドアに対して直角に移動しているパターン、ドアを開けながら回転して移動しているパターンが見られ、真正面に移動しているパターンは、体が完全に通過した時点で、ドアに対して直角に移動しているパターン、ドアを開けながら回転して移動しているパターンは、ドアを開けながら、左回転してドアを閉め、ドアを閉めた後、全てのパターンが左回転して離れていく。被験者5

名のドアを開け、通過し、閉めるまでの一連の動作位置を重ねてみると、スペースの幅は最低 854mm 、ドアの端から外側に最低 378mm のスペースが必要である。また、ドアを開ける平均角度は、約 41° であった。

3. 2. 2 成人の平面動作スペース

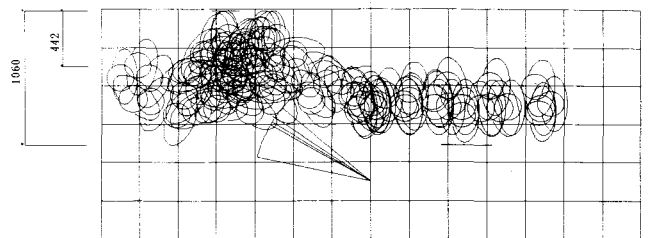


図6 押して開けた時の成人の平面動作スペース

押して開けた時の成人の平面動作スペースを図6に示す。

成人はスタート時点で、ほぼドアハンドルの位置に立ちドアハンドルに向い真っ直ぐ移動している。ドアを開ける時点では、全ての被験者がドアに対し、ほぼ平行に身体を向けドアを開ける動作を行っている。ドアを開ける時点の平均踵位置は平均 550mm であった。

通過時点では、子供と同様にドアを大きく開け、そのまま真正面に移動しているパターン、ドアを開けながら回転して移動しているパターンが見られ、真正面に移動しているパターンは、体が完全に通過した時点で、ドアを開けながら回転して移動しているパターンは、ドアを開けながら、左回転してドアを閉め、ドアを閉めた後、全てのパターンが左回転して離れていく。被験者5名のドアを開け、通過し、閉めるまでの一連の動作位置を重ねてみると、スペースの幅は最低 1060mm 、ドアの端から外側に最低 442mm のスペースが必要である。また、ドアを開ける平均角度は、約 61° であった。

3. 2. 3 高齢者の平面動作スペース

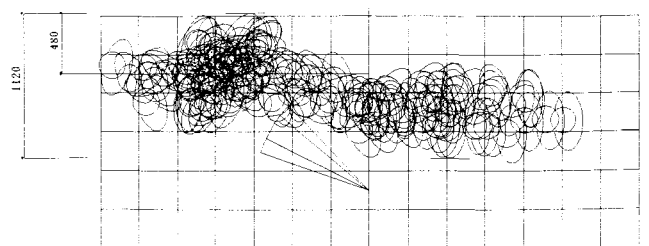


図7 押して開けた時の高齢者の平面動作スペース

押して開けた時の高齢者の平面動作スペースを図7に示す。

高齢者はスタート時点でドア枠内、若しくはドアハンドルの位置に立ち、スタートと同時にドアハンドルに向い真っ直ぐ移動している。ドアを開ける時点では、成人と同様に全ての被験者がドアに対し、ほぼ平行に身体を向けドアを開ける動作を行っている。ドアを開ける時点の平均踵位置は、600mmであった。

通過時点では、子供・成人と同様にドアを大きく開け、そのまま真正面に移動しているパターン、ドアを開けながら回転して移動しているパターンが見られ、真正面に移動しているパターンは、体が完全に通過した時点で、ドアを開けながら回転して移動しているパターンは、ドアを開けながら、左回転してドアを閉め、ドアを閉めた後、全てのパターンが左回転して離れていく。被験者5名のドアを開け、通過し、閉めるまでの一連の動作位置を重ねてみると、スペースの幅は最低1120mm、ドアの端から外側に最低480mmのスペースが必要である。また、ドアを開ける平均角度は、約59°であった。

3. 2. 4 車椅子の平面動作スペース

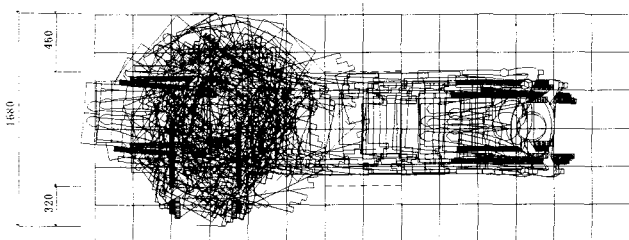


図8 押して開けた時の車椅子の平面動作スペース

押して開けた時の車椅子の平面動作スペースを図8に示す。

車椅子は、全ての被験者がドア中央からスタート、ドアいっぱいまで車椅子を寄せ、ドアの中心に位置し、ドアに対し、平行に身体を向けてドアを開ける動作を行っている。そのままドアをいっぱいに開け真っ直ぐ通過している。ドア通過後、平均後輪位置が1150mmで、約180°回転してドアを閉めている。この時の回転方向は、回転する方向の反対方向に一度車椅子を回転させるパターン、そのままの位置で回転するパターンが見られた。また、回転方法は、片輪を止めて回転するものと両輪を同時に回して回転しているものがあり、両輪を同時に回す方がスペースをとっていない。ドアを閉めた後、再び約180°回転して進行方向へ向かっている。被験者5名のドアを開け、通過し、閉めるまでの一連の動作位置を重ねてみると、スペース幅は最低1680mm、進行方向左ドアの端から外側に最低460mm、右ドアの端から外側に最低320mmのスペースが必要である。また、ドアを開ける平均角度は90°であった。

5 4 まとめ

「引いて開けた時の平面動作スペース」を表2に、「押して開けた時の平面動作スペース」を表3に示す。車椅子における平均踵位置は後輪位置を示す。

表2 引いて開けた時の平面動作スペース

	子供	成人	高齢者	車椅子
平均踵位置	520mm	920mm	900mm	1400mm
動作幅	976mm	1220mm	1120mm	1840mm
ヒンジ側袖壁幅	0	0	0	320mm
ハンドル側袖壁幅	352mm	540mm	460mm	620mm
ドアの開き角度	41°	53°	57°	90°

表3 押して開けた時の平面動作スペース

	子供	成人	高齢者	車椅子
平均踵位置	380mm	550mm	600mm	1000mm
動作幅	854mm	1060mm	1120mm	1680mm
ヒンジ側袖壁幅	0	0	0	320mm
ハンドル側袖壁幅	374mm	442mm	480mm	420mm
ドアの開き角度	41°	61°	59°	90°

- 1) ドアを開ける時の平均踵位置（立ち位置）、「引いて開けた時」より「押して開けた時」の方が、全被験者とも小さく、ドアを開ける方向で差がある。
- 2) 動作幅は、「引いて開けた時」より「押して開けた時」の方が、全被験者とも小さく、最も動作幅を必要とするのは、「引いて開けた時」の車椅子であり、最も小さいのは、「押して開けた時」の子供であった。
- 3) ヒンジ側のスペースは車椅子のみが、「引いて開けた時」、「押して開けた時」とも車椅子を180°回転させるために最低320mm必要としている。
- 4) ハンドル側のスペースは、「引いて開けた時」、「押して開けた時」とも全ての属性が必要としており、その幅はハンドルの取付位置（右・左）、使用する腕（右・左）に関係してゐる。
- 5) ドアの開き角度は、平均踵位置（立ち位置）と通過パターンに関係しており、開き角度が少なければ立ち位置もほぼ小さくなっている。
- 6) 車椅子・成人・高齢者・子供の順で広いスペースを必要としており、その必要最低スペースは、立って通過する場合、ドア幅にハンドル側のスペースを加えたものが必要となる。ユニバーサルデザインとして考えた場合、最も広いスペースを必要とする車椅子を考えて、900mm（ドア幅）+620mm（ハンドル側）+320mm（ヒンジ側）=1840mmの平面スペースが最低必要である。

謝辞

被験者の方々、実験機材等にご協力いただいた YKKap 株式会社の東谷、野村氏に深く感謝の意を表します。

鳥取県西部地震で観測された地震動のスペクトル特性

(建築学科) 門前勝明

(広島大学) 三浦隆志

Spectral Characteristic of Recorded Accelerogram from Western Tottori Earthquake

(Department of Architecture and Structural Engineering) Katuaki MONZEN
(Hiroshima University) Takashi MIURA

Abstract

The frequency characteristic of the recorded accelerograms from the 2000 Western Tottori Earthquake is described. The data of a strong-motion observation network, K-NET, are used. The Fourier spectrum are predicted at the engineering bedrock level by using the 1-D equivalent linear analysis. It is shown that the frequency characteristic varies with recorded location, not only surface motion but engineering bedrock motion.

Key Word : Western Tottori Earthquake, engineering bedrock, spectral characteristic, 1-D equivalent linear analysis
鳥取県西部地震, 工学的基盤, スペクトル特性, 1次元等価線形解析

§ 1. はじめに

1960年代の初め, 超高層建物の建設に関連して, 耐震設計に地震応答解析法が使用されて以来, 耐震設計にはこの方法が常用されるようになった。地震応答解析には地震波が必要となるが, 当時わが国では適切な強震記録が観測されていなかったこともあり, エルセントロやタフトが設計用地震波として使用された。わが国でも古くより強震計を製作設置して強震観測に努めたが, 1990年までに観測されたエルセントロやタフト級の地震波は, 1968年十勝沖地震における八戸港湾記録くらいであった。1993年の釧路沖地震では気象台で最大加速度 $700 \sim 900 \text{ gal}$ という大きな水平加速度を記録したが, 建物(気象台)の被害は軽微だったことから, 地震波の大きさの捉え方が問題になった¹⁾。そのような頃, 1995年1月に兵庫県南部地震が発生し, 戦後最大の被害を受けたが, 沢山の貴重な地震波も記録された。その後, 科学技術庁防災研究所により, 全国1000地点にK-NETと呼ばれる加速度型強震計が設置された。従来では地震計が大都市に集中して設置されていたため観測場所が限定されていたが, K-NETにより, 日本全国均質(日本全国に約25km間隔)な観測ができるようになった。

中国地方で発生した破壊的地震は, 1885年以降では,

1905年の芸予地震, 1943年の鳥取地震があるくらいで, 比較的大きな地震が発生しなかった地域であったこともあり, 建物の耐震設計で参考になるような地震波は観測されていなかった。2000年10月6日に発生した鳥取県西部地震では, 地震観測網が整備されてから初めて中国地方でまとまった, かつ大きな加速度の地震波が観測された。今まで中国地方では破壊的地震の特性が把握されていないので, 大きな地震の特性を知ることが建物の耐震設計上重要である。鳥取県西部地震では, K-NETでまとまった地震加速度が観測されたので, 地表と工学的基盤における加速度のフーリエスペクトルを求め, その特性を検討する。

§ 2. 解析地点と観測地震波

鳥取県西部地震の震度分布は, 島根県境港市, 鳥取県西伯町, 日野町と震央付近で震度6が観測されている。震度5は, 北は島根県松江市, 鳥取県米子市から, 南へ向かって広島県福山市, 岡山県岡山市, 香川県観音寺市, 徳島県徳島市と南側へ広く分布している。震度4になると西は大分県の姫島から東は岐阜県海津市まで, 南は高知県安芸市までと相当広い範囲に分布している。震度4以上の地域に限定しても

データの数が膨大な量になってしまうことから、震度4以上の地域からさらに広島県、岡山県、島根県、鳥取県の中国地方4県の各観測点で記録された地表の加速度波を解析の対象にした。観測地点は広島県で21地点、岡山県で15地点、島根県で19地点、鳥取県で9地点、合計64地点である。

§ 3. 解析方法

3. 1 観測地震波の補正

図-1は呉市で観測された時刻歴を図示したものである。図から基線の位置がドリフトしていることがわかる。このドリフトは観測点での温度により1Gal/℃程度のドリフトが生じることが知られている²⁾。さらに主要動の前部と後部にかなり長い小振幅部分が含まれている。公表されているK-NETの記録には地震発生前の12秒間が含まれていると言われているので、波形を概観して地震発生前の12秒間と判断された場合は前分12秒間をカットした。さらに後部の小振幅部分も解析にほとんど影響しないことが知れたのでカットした。最終的には、観測波形のノイズと思われる前部と後部をカットし、ドリフト除去のため基線に直線を最

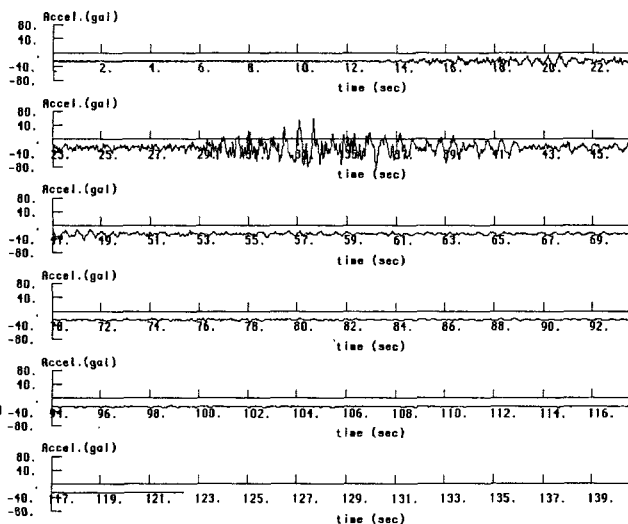


図-1 呉市の観測波形

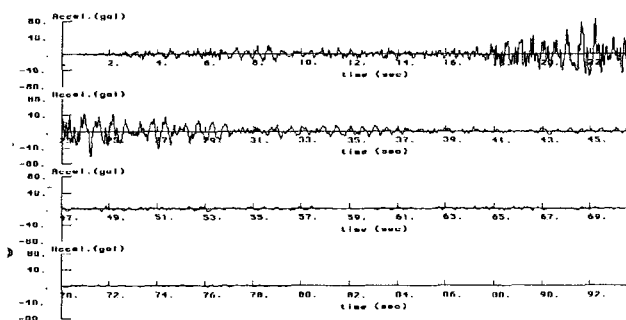


図-2 呉市の観測波形 (補正後)

小2乗法によって当てはめたものを観測波形とした。このように補正した結果を図-2に示した。

3. 2. 解析地盤

地盤は図-3に示すように、水平せん断地盤とする。図中 G_m , ρ_m , V_m , h_m は各々 m 層のせん断力係数、地盤の密度、せん断波速度、地盤の厚さである。垂直方向に伝播する

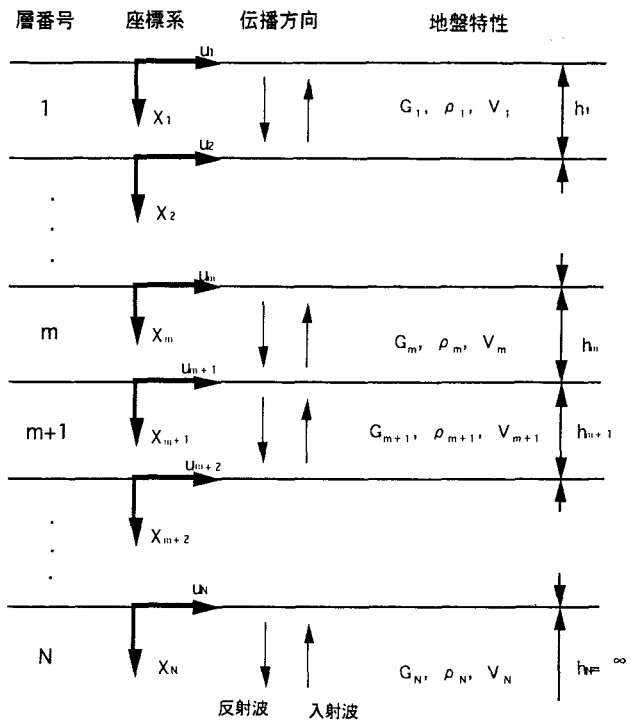


図-3 解析地盤

せん断波により、水平方向の変位 u を考える。ひずみ速度に比例する減衰力(粘性減衰係数 η)と履歴減衰を想定した複素減衰(減衰定数 h_i)を考慮すると、各層の運動方程式は次のようになる³⁾。

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = G \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \eta \frac{\partial^3 u}{\partial x^2 \partial t} \quad (1)$$

$$\text{ここで, } V^2 = \frac{G}{\rho} \left(1 + \frac{\eta}{G} \omega i \right) \quad (2)$$

$$G = G_0 (1 + 2 h_i \omega) \quad (3)$$

地表の観測波形から、プログラム SHAKE を使用して、工学的基盤波のフーリエスペクトルを求める⁴⁾。

3. 3 地盤のモデル化

地盤のモデル化は、K-NET で公開されている地盤情報の柱状図を粘土質層、砂質層、れき層、岩盤の4種類に分類して層を分割し、さらに同じ土質層でもせん断波速度 V_s が変化していると所ではさらにせん断波速度により分割した。実際の設計では、400m/s 程度以上のせん断波速度を有する地盤が工学的基盤として利用されることから⁵⁾、柱状図が

せん断波速度400m/s 以上の地盤に達しているものについては、その最下層の地盤が地中深くまで続いていると考えた。柱状図の最下層がせん断波速度 $V_s = 400\text{m/s}$ に達していないものについては以下の手順で基盤を仮定し、地盤モデルを作成した。まずその観測点付近にボーリング調査資料^{(6)~(9)}がある場合は、その柱状図の中からK-NETで公開されている地盤情報より深いところまで掲載されているものを選び、深さごとの地層の種類、N値が比較的一致しているものを選択し、K-NETで公開されている地盤の最下層の下に1層つけ加えた。この1層はせん断波速度 V_s が400m/sに達する直前までの各地層の厚さ、密度、せん断波速度を相乗平均したもので、地層の種類はその不明部分の代表的なものを用いた。そしてせん断波速度 V_s が400m/s 以上、N値で50 以上に達したところを工学的基盤と仮定した。ボーリング調査資料^{(6)~(9)}にはせん断波速度が記載されていなかったため次の式を用いて、N値からせん断波速度を求めた⁽⁵⁾。

$$V_s = 68.79 \cdot N^{0.171} \cdot H^{0.199} \cdot E \cdot F \quad (4)$$

ここで、N：標準貫入試験によるN値

H：地表面からの深さ

E：地質時代による指標（洪積層：1.303，沖積層：1.00）

F：土質種別による指標（粘土：1.000，細砂：1.086，中砂：1.066，粗砂：1.135，砂礫：1.153，礫：1.448）

次にボーリング調査資料^{(6)~(9)}はあるが柱状図に比較的に似ているものがなかったり、K-NETで公開されている地盤情報より深い情報がなかった場合は、最下層の下にせん断波速度400m/s の岩盤を付け加えて地盤モデルを作成した。

3. 4 地盤の動的変形特性

土の応力～ひずみ関係式は種々のものが提案されているが、Hardin-Drnevich のH-DモデルとRamberg-Osgood 曲線を利用したR-Oモデルがよく使用されている。両モデルとも一長一短はあるが、この報告では下式で表されるR-Oモデルを使用する⁽¹⁰⁾。

$$\gamma = \frac{S_u}{G_0} \cdot s \cdot (1 + \alpha |s|^\beta) \quad (5)$$

ここで、s：基準せん断応力（ $= \tau / S_u$ ）

γ ：せん断ひずみ度

G_0 ：初期せん断弾性定数

S_u ：せん断強度

α ：破壊時せん断ひずみ度に依存するパラメータ

β ：スケルトンカーブの形状を決めるパラメータ

これらの定数は、既往の研究結果を参考にして次の値を採用し⁽¹¹⁾、

粘性土： $\alpha = 5.0$ ， $\beta = 1.4$ ， $G_0 / S_u = 600.0$

砂質土： $\alpha = 10.0$ ， $\beta = 1.6$ ， $G_0 / S_u = 1100.0$

れき： $\alpha = 12.0$ ， $\beta = 1.7$ ， $G_0 / S_u = 1300.0$
岩盤は弾性挙動するものとした。

このモデルの履歴減衰定数 h_u は次式となる。

$$h_u = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{\beta}{\beta + 2} \cdot \left(1 - \frac{G}{G_0}\right) \quad (6)$$

この報告では、(6)式で表される履歴減衰の他、微小ひずみでの減衰として、一般の地盤では2%，岩盤で0.5%の履歴型の減衰を考慮している。地盤の減衰については未だ不明な点が多々認められ、最近、履歴減衰の他周波数に依存した散乱の減衰を考慮する方向にあるが、ここでは考慮していない⁽¹²⁾。

§ 4. 解析結果とその検討

SHAKEを使用して、地表の観測記録から工学的基盤波のフーリエスペクトルを求めた。(1)式の解はS波を想定しているため、観測波の何の部分解析の対象にするか問題はあるが、観測波形を概観して液状化などにより波形に特別な変化が認められない場合は、全観測区間を解析の対象にした。鳥根県六日市町における観測記録のように、波形が途中から明らかに変化している場合は、主要動部分を切り取った。R-Oモデルを用いた等価線形化法は、最大ひずみで0.5%程度までは十分挙動が追跡できると報告されている⁽¹²⁾。最大ひずみが0.5%を限度と考え、0.5%以上になった観測場所は除外した。

図-5に呉市で観測された地表と工学的基盤波のフーリエスペクトルを示した。スペクトルは次式で表されるHanning ウィンドウを50回施して、平滑化している。

$$F_k = 0.25 F_{k-1} + 0.5 F_k + 0.25 F_{k+1}$$

この地盤の共振振動数は、1次約2 Hz、2次約6 Hzになることから、地表スペクトルの2 Hzと6 Hzのピークは、地

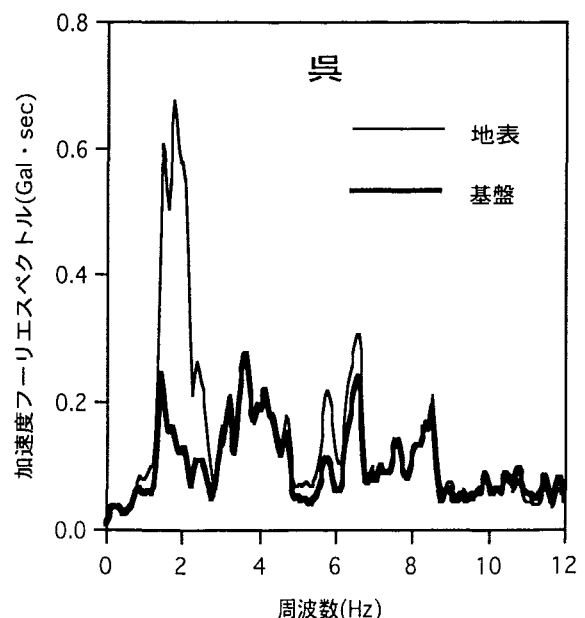


図-5 地表と基盤のフーリエスペクトル（呉）

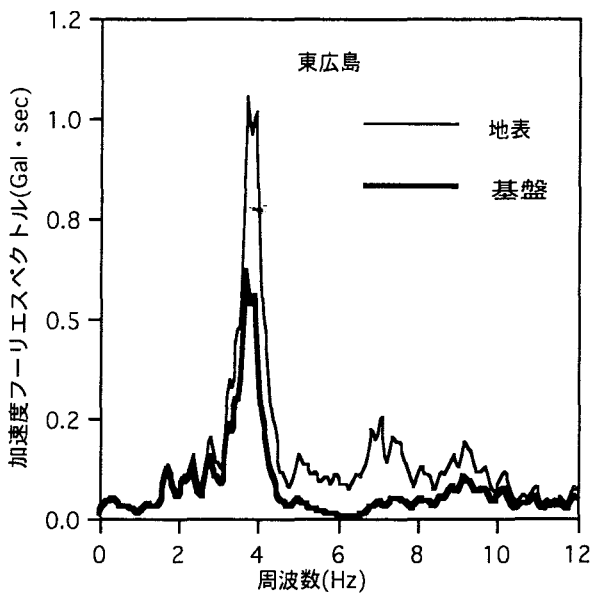


図-6 ピーク型

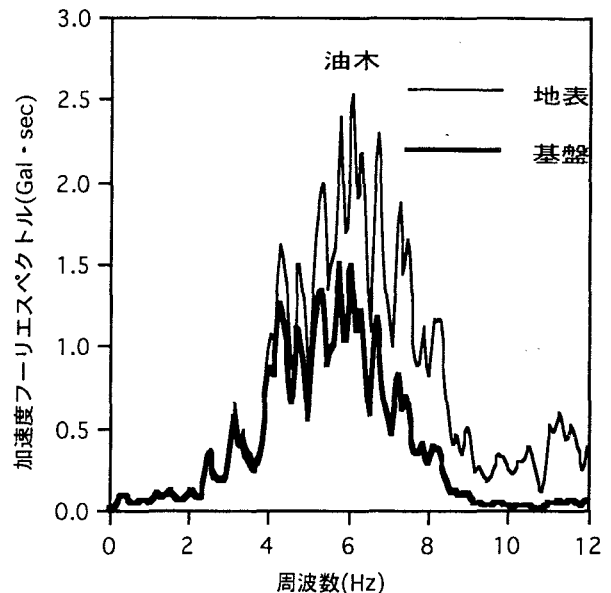


図-8 中央型

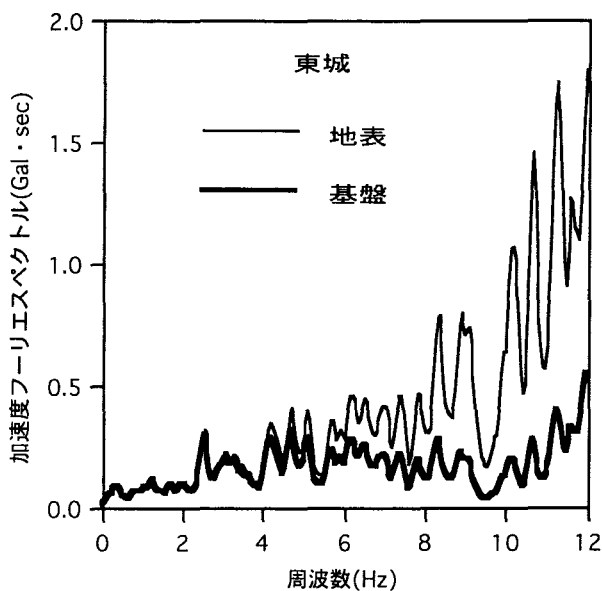


図-7 高周波型

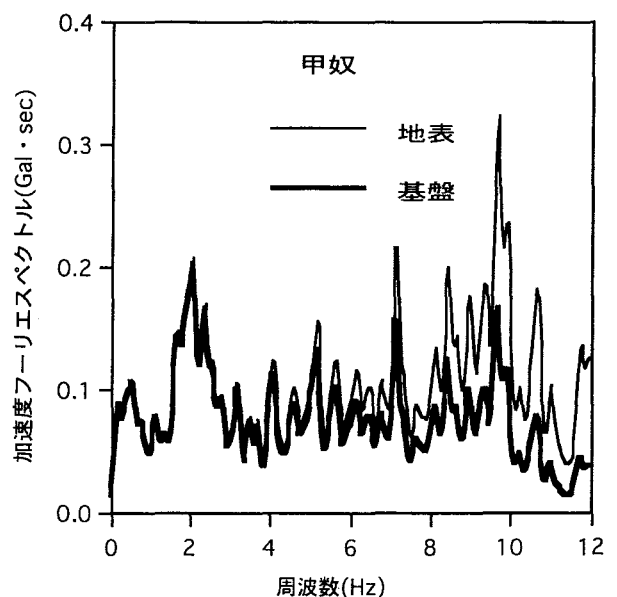


図-9 分散型

盤によって増幅されたものである。工学的基盤におけるスペクトルは、地表のものに比較すると、若干簡単な形をしているものの、未だ顕著な周期的特性が認められる。そこでスペクトルの特性を把握するため、地表でのスペクトルを形状により分類すると、図-6示すピーク型、図-7に示す高周波型、図-8に示す中央型、図-9に示す分散型に分類することができた。図-6に示す東広島地の増幅特性は、7 Hz 付近で1次のピークがあらわれる。4 Hz 付近の大きなピークは表層地盤によって増幅されたものではなく、工学的基盤波に含まれていたものである。図-7に示す広島県東城と図-9に示す広島県甲奴の地盤は、1~2mの表土の下はせん断波速度が400m/s以上の堅い層で構成され、1次の共振周波数は1.2 Hz以上である。図-8に示す広島県油木町の観測地盤は、工学的基盤が露頭している場合に該当する。図から、工学的基盤波の周波数特性は、観測場所でかなり異なることがわかる。

図は省略するが、スペクトル形状と地域的な関係を検討したが、特に顕著なスペクトル形状の地域性を認めることはできなかった。また、工学的基盤のスペクトル形状もほとんど同じように分類できた。

地盤の複雑さと地表のスペクトル形の関係を検討するため、文献5)で利用されている、地盤の複雑さを表す指標 $\Delta V/V_e$ と V_e/V_b を算出した。

$$V_e = \sum (V_i h_i) / \sum h_i \quad (7)$$

$$\Delta V = \sum (|V_i - V_e| h_i) / \sum h_i \quad (8)$$

ここで、 V_b : 工学的基盤のせん断波速度

V_e : 表層地盤の平均せん断波速度

ΔV : 表層地盤内のせん断波速度のばらつき

h_i : 表層地盤を構成する各層の層厚

V_i : 表層地盤を構成する各層のせん断波速度

図は割愛するが、地盤の複雑さと地表のスペクトルには

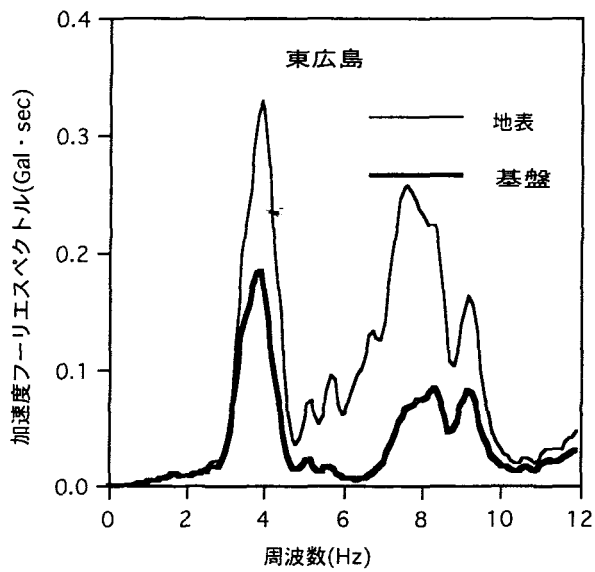


図-10 広島県竹原沖

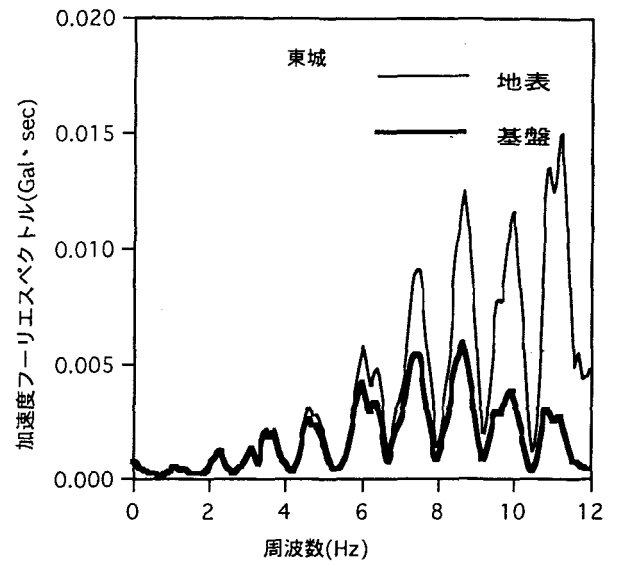


図-13 伊予灘

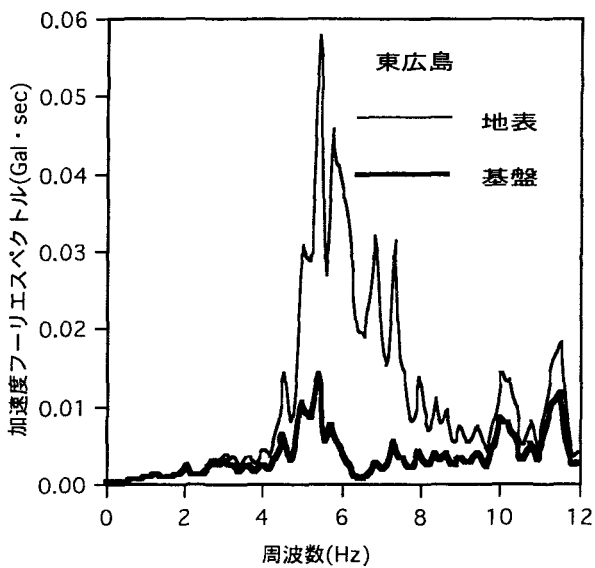


図-11 伊予灘

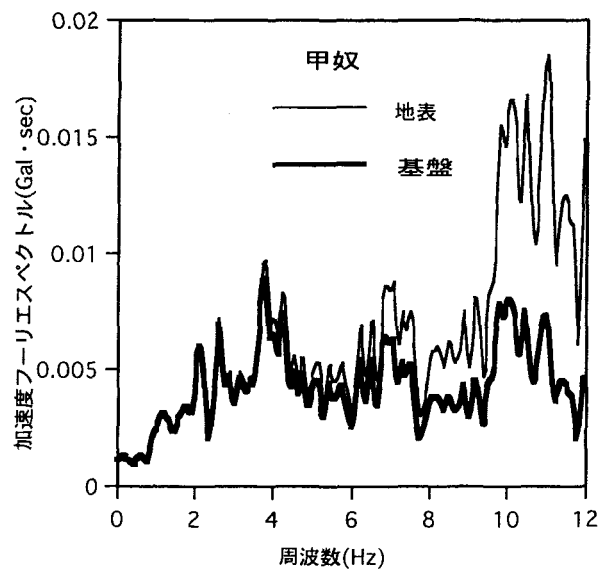


図-14 広島県竹原沖

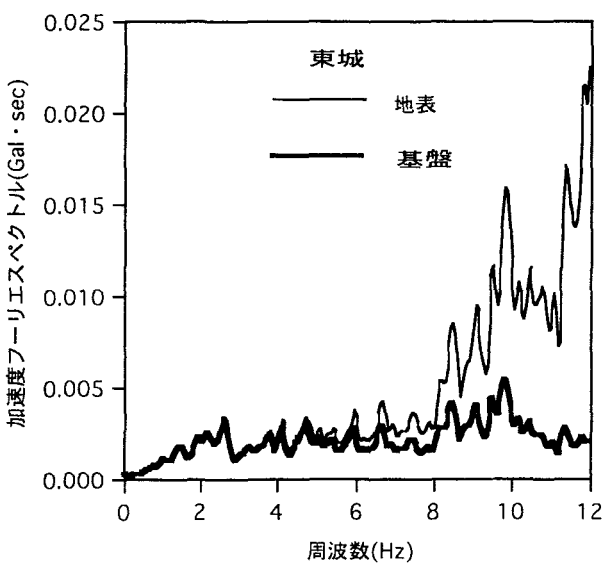


図-12 広島県竹原沖

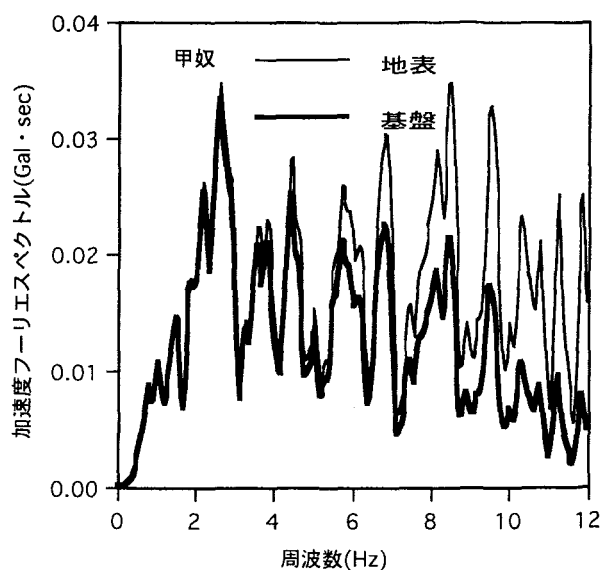


図-15 伊予灘

顕著な関係は認められなかった。

地表の観測波や工学的基盤波に特定の性質が見いだせなかったもので、同じ観測点で観測された他の地震波のスペクトル特性を調べた。ここですべての観測点で観測された地震波を取り扱うとデータが膨大な量になってしまうことから、地表のスペクトル形で分類した4種類の中から、比較的多くの地震波が観測され、観測地震の震源が特定の場所に偏っていない観測点を各種類毎に2箇所選択した。解析した地震波は鳥取県西部地震の余震と思われる地震波と、震源が鳥取県西部地震とは反対側にある地震波をとりあげた。

図-10～図-15に広島県竹原沖と伊予灘で発生した地震で観測された地表波と工学的基盤波の比較を示した。東広島について地盤の増幅特性を考慮して図-6、図-10、図-11を比較すると、全体的には工学的基盤でのスペクトル形状は類似しているといえる。1次の共振周波数に対応する7Hz付近で大きなピークが発生する可能性があることがわかる。また、すべての地震について4Hz付近に大きなピークが認められ、このピークの原因を検討するにはさらに深い地下構造の情報が必要である。

東城と甲奴の地盤は共に1次の共振周波数が12Hz以上の堅い地盤である。地表のスペクトルにみられる12Hz付近大きなピークは地盤の増幅によるものである。工学的基盤のスペクトル形状は、地震波に係わらず類似していることがわかる。

§ 5. おわりに

2000年10月6日、鳥取県境港付近を震央とする鳥取県西部地震($M_w=6.6$, $M_J=7.3$)により、K-NET上で沢山の地震波が観測された。今まで中国地方では破壊的地震の特性が把握されていなかったもので、大きな地震の特性を把握するため、広島、岡山、島根、鳥取の各観測点で観測された地表と工学的基盤における加速度のフーリエスペクトルを求め、その特性を検討した。その結果次のことが知れた。

- 1) 地表でのスペクトル形状は地盤の特性によって大きく左右され、堆積層が厚いと地表でのスペクトルに大きなピークを持つ形となることがある。
- 2) 地表でのスペクトル形状を地域的な特性や地盤の複雑さなどから推定することは難しい。
- 3) 基盤でのスペクトルは比較的簡単な形状になると言われているが、工学的基盤では観測点により周波数特性はかなり異なる。
- 4) 多くの場合、観測地震波が異なっても工学的基盤のスペクトル形状は類似した形になりやすい。

参考文献

- 1) 杉村義広他8名:平成5年釧路沖地震における地震記録とその建物破壊力の検証, 建築研究所報告, No.134, 1996年3月, 建設省建築研究所
- 2) 木下 繁夫, 上原 正義, 斗沢 敏雄, 和田 安司, 小久江洋輔: KNET95 型強震計の記録特性, 地震, 第2号, 第49巻(1997), 467-481
- 3) 柴田明徳: 最新耐震構造解析, 森北出版, 1981年
- 4) P. B. Schnable, J. Lysmer and H. B. Seed: SHAKE A computer program for earthquake response analysis of horizontally layered, Report No. EERC72-12, University of California, Berkeley, 1972
- 5) 北川良和他3名: 設計用入力地震動作成手法, 建築研究所資料, No.83, 1994年11月, 建設省建築研究所
- 6) 日本建築学会中国支部, 広島県東部地盤図, 日本建築学会中国支部, 昭和62年3月
- 7) 日本建築学会中国支部, 広島県西部地盤図, 日本建築学会中国支部, 昭和63年5月
- 8) 中国地方基礎地盤研究会, 山陰臨海平野地盤図, 中国地方基礎地盤研究会, 平成7年11月
- 9) 中国地方基礎地盤研究会, 岡山県地盤図, 中国地方基礎地盤研究会, 平成7年3月
- 10) 大崎順彦, 原昭夫, 清田芳治: 地盤振動解析のための土の動力学モデルの提案と解析例, 第5回地震工学シンポジウム, 1978年11月
- 11) 杉村義広他3名: 入力波の長周期成分が非線形地盤応答に与える影響, 日本建築学会構造計論文報告集, 第449号, 1993年7月
- 12) 吉田 望: 地盤の非線形性と液状化, 第26回地盤震動シンポジウム, 日本建築学会, 1998年3月

本校普通教室における温熱環境の実測調査

(建築学科) 石井 仁

(専攻科建設工学専攻) 松本真奈美, 竹内大樹

(フリー) 松尾涼香

Field Survey on the Thermal Environment in a Classroom of College

(Department of Architecture and Structural Engineering) Jin ISHII

(Advanced Architecture and Civil Engineering) Manami MATSUMOTO and Daiki TAKEUCHI

(Innocupation) Suzuka MATSUO

Abstract

The purpose of this study is to evaluate the present thermal environment in a classroom of college sited subtropical climate. In terms of the thermal environmental indices (SET*, PMV, PPD), the classroom seems to be hot and discomfortable environment in summer time. Furthermore, most of the college students occupied the classroom felt hot and discomfort in summer time. It is necessary to improve the thermal environment in the classroom in summer time

Key Words : classroom, thermal environment, evaluation, SET*, PMV

教室, 温熱環境, 評価, 標準有効温度, 予測平均温冷感申告

§ 1 はじめに

児童, 生徒ならびに学生は, 1日の大半を学校の教室で過ごす。彼らが学習する教室内は, 安全かつ衛生でなければならない。さらに効率よく学習する, あるいはゆとりある教育を行うためには, 教室内の快適性を問うことも必要であると考えられる。これまで教室内の温熱環境についての研究は, 小中学校を対象とした実測調査¹⁾, あるいは小中学校の児童, 生徒, 教諭に対して行われた温熱環境に関するアンケート調査²⁾などは, 数例報告されている。しかし, 15歳~20歳の学生が在籍している, 高等専門学校を対象とした研究は, ほとんど報告されていない。小中学校の児童, 生徒と高等専門学校の学生とでは, 体型・体格が異なるため, 等しい温熱環境であっても生理・心理反応が異なることが考えられる。また, 建築室内環境に関する既存の研究事例では, 学校建築に限らずオフィス, 住宅などの温熱環境, 空気質環境等の実測・評価と, 在室者に対してアンケートによる室内環境の評価・分析を個々に行うことが多く, それらを同時に行い, 物理的・心理的側面から室内環境を総合的に評価した報告³⁾は, あまり多くない。

そこで本研究は, 本校普通教室を対象とし, 温熱環境要素である気温, 湿度, 風速, グローブ(放射)温度を

通年測定し, 同時に学生に対して温熱環境, 着衣量に関するアンケートを行い, 温熱環境指標, 学生の温熱環境評価から, 教室内の温熱環境を物理的・心理的側面から総合的に評価をすることを目的としている。

§ 2 温熱環境指標について

人間の暑さ・寒さの感覚(温冷感)に影響を及ぼす主な要素には, 環境側として, 気温, 湿度, 風速, 放射温度があり, 人体側として, 代謝量, 着衣量がある。これらの要素は通常, 温熱6要素と呼ばれている。温熱環境指標とは, 温熱6要素から算出される指標であり, 対象とする空間が熱的に安全, 衛生または快適であるか否かを, 設計時であれば予測し, 調査時であれば評価が行えるものである。本研究では温熱環境指標として, SET*, PMV, PPDを用いた。これらの指標は, 室内空間を対象とする場合に広く用いられている。

2.1 SET*

SET*(標準有効温度)は, Gaggeら⁴⁾によって提案開発された指標で, ASHRAE(米国暖房冷凍空気調和学会)で標準体感温度として採用されている。SET*は図1に示すように, 温冷感および人体からの放熱量が, 実在

環境におけるものと同等になるような、標準環境の気温である。気温以外の温熱要素は、相対湿度50%、風速0.1m/s、放射温度=気温、代謝量1.0met、着衣量0.6cloとして、これを標準状態と定義している。この標準状態は、普通のオフィス空間でカットシャツ、ズボン程度の服装で、ごく軽いデスクワークを行っている在室者を想定したものである。ASHRAEではSET*22.2℃～25.6℃を快適域⁵⁾と定義している。

2.2 PMV

PMV (予測平均温冷感申告) は、1970年にFanger⁶⁾により開発提案された指標で、温熱6要素を用いて、ある温熱環境条件で大多数の人が感じる温冷感を表1に示す。7段階の数値で予測するものである。これはISO 7730⁷⁾として国際規格化されている。ISO 7730ではPMV±0.5の範囲内を快適域として推奨している。

2.3 PPD

PPD (予測不満足者率) は、PMVが±1の範囲外を申告した人の割合を不満足者率として表したものである。ISO 7730では、PPD10%以下を快適域として推奨している。PMVとPPDの関係を表1に併せて示す。

§ 3 測定計画

3.1 対象教室

測定対象教室の平面図を図2に示す。対象教室は、本校建築学科棟(RC造、3階建て)3階に位置しており、現在建築学科4年生がホームルームとして使用している。対象教室には暖房設備として、パネルラジエーターがあり、換気設備として全熱交換機が備わっている。暖房は通常12月初旬から翌年3月初旬までの期間、始業時から放課後まで運転されている。しかし、今年度は暖房機器が、12月初旬から中旬まで故障していたため、その期間暖房は行われていなかった。

3.2 温熱環境測定

気温、相対湿度は、教室前方、窓側および廊下側の両側面、後方の4箇所において、床上80cmの位置にて測定した。なお、教室後方においては、床上10cm、150cmの位置にて気温、相対湿度を併せて測定した。風速、グローブ(放射)温度は、教室前方床上80cmにて、測定を実施した。外気温および相対湿度は、建築学科棟北側において、地上100cmの位置にて測定した。これらの温熱環境要素を2000年5月17日から2001年1月19日まで、30分間隔で連続測定した。表2に測定項目、測定機器を示す。

3.3 アンケート調査

学生の温熱環境に対する心理的評価は、両極直線評定尺度⁸⁾を用いて行った。なお評定尺度は、統計処理を行う際、評価した位置に応じて0～100の数値を割り当てた。着衣量に関して、単品衣服を衣服調査票中⁹⁾から学生自身が選択し、申告する形式とした。心理評価および着衣量の測定は4年生全員43名(男子22名、女子21名)を

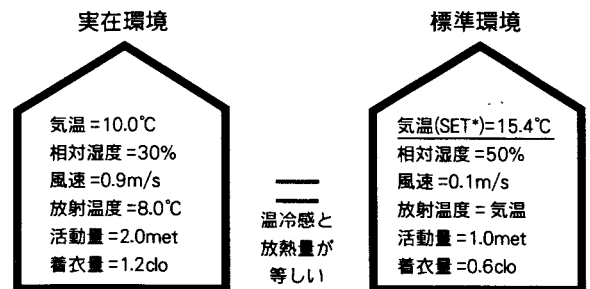
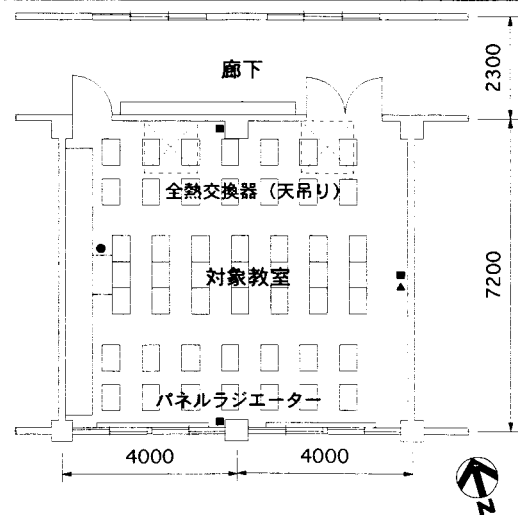


図1 SET*について

表1 PMV・PPDと温冷感のカテゴリー

PMV	温冷感		PPD
+3	非常に暑い	hot	99%
+2	暑い	warm	75%
+1	やや暑い	slightly warm	25%
0	どちらでもない	neutral	5%
-1	やや寒い	slightly cool	25%
-2	寒い	cool	75%
-3	非常に寒い	cold	99%



- 気温・相対湿度・風速・グローブ温度 (床上80cm)
- 気温・相対湿度 (床上80cm)
- ▲ 気温・湿度 (床上10cm, 150cm)

図2 測定対象教室平面図(建築棟3階)

表2 測定項目・測定機器

測定項目	測定機器
気温・相対湿度	PMV計(教室前方のみ)
	(京都電子: AM-101)
	自動温湿度計 (タバイエスベック: RS-11)
風速・グローブ温度	PMV計(教室前方のみ) (京都電子: AM-101)

対象した。アンケート調査は、2000年5月31日から2001年1月17日まで、15日間隔をめぐに10:30頃（2限終了時）と14:00頃（5限終了時）の午前、午後、1日2回測定した。

§ 4 測定結果

4.1 温室度の年変動

温湿度の日平均の年変動を図3に示す。図中の網掛け部分は、夏季休業、冬季休業を示す。なお、グラフ中の途切れは、データ欠損である。外気温および室温は、測定を開始した5月中旬頃から8月初旬頃まで若干の変動はあるが、上昇する傾向が認められ、9月中旬からは徐々に下降する傾向が認められた。外気温と室温を比較すると、年間を通して室温は外気温よりも高かった。屋内外の温度差は、外気温が高くなるにつれ差は小さくなり、低くなるにつれ差は大きくなった。屋内外の相対湿度を比較すると、概ね屋外が室内の相対湿度よりも高かった。

4.2 温室度の日変動

夏季における温湿度の日変動の一例として、7月14日の測定結果を図4に示す。図中の網掛け部分は、学生の教室不在時間を示す。気温に関して、室温は変動が少なく、28.5℃～30.5℃の間で推移していた。外気温は、11:30頃まで上昇し、その後やや下降したが再び上昇し15:00頃、最も高くなり30℃程度であった。室温と外気温を比較すると、11:00頃までは室温が高いが、14:00頃からは概ね、外気温が高くなった。学生が不在となる、昼休憩時、教室外授業時間、放課後は、室温が1℃程度下降した。相対湿度に関して、屋外、室内ともに60%～80%程度であった。

冬季における温湿度の日変動の一例として、12月15日の測定結果を図5に示す。この日は始業時から放課後まで暖房運転が行われていた。気温に関して、室温は始業とともに上昇し、11:30頃最高となった。学生が不在となる昼休憩時、教室外授業時間、放課後は、室温が最大で5℃程度下降した。外気温は9:00頃から上昇し、15:00頃最も高く10℃程度となった。相対湿度に関して、室内の湿度は始業とともに上昇し、その後10:00頃からは下降傾向となり、12:00頃からは、30%～40%程度で推移した。屋外は60%～80%程度で推移した。終日、室内に比べ、屋外の湿度は高かった。

4.3 教室内気温分布の日変動

夏季における教室内上下気温分布の日変動の一例として、7月14日の測定結果を図6に示す。図中の網掛け部分は、学生の教室不在時間を示す。上側気温は始業とともに若干だが上昇し、学生が不在となる昼休憩時、教室

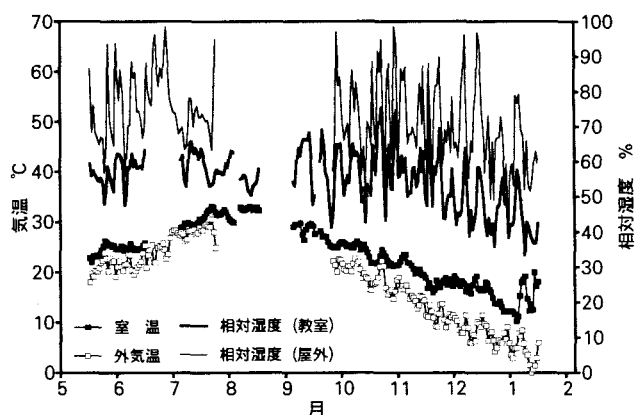


図3 温室度日平均の年変動

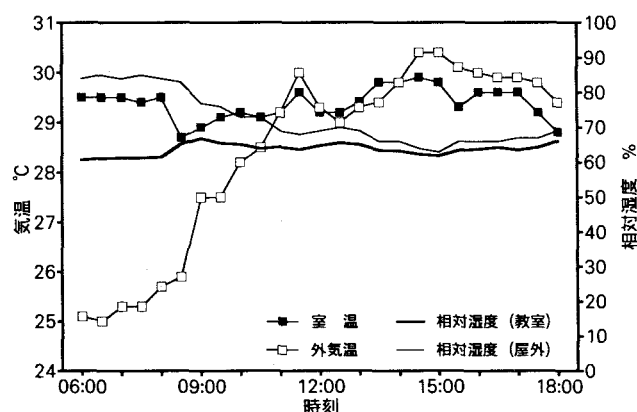


図4 夏季における温湿度の日変動（7月14日）

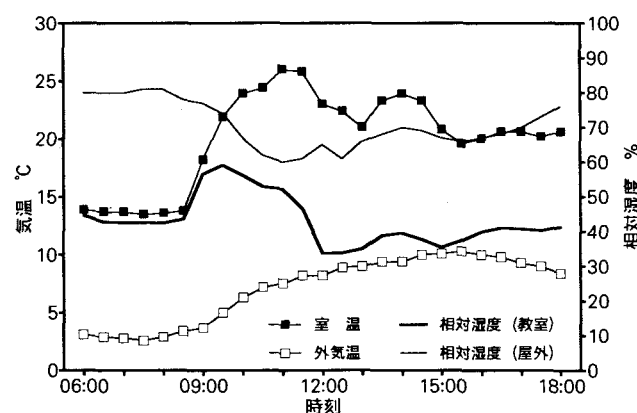


図5 冬季における温湿度の日変動（12月15日）

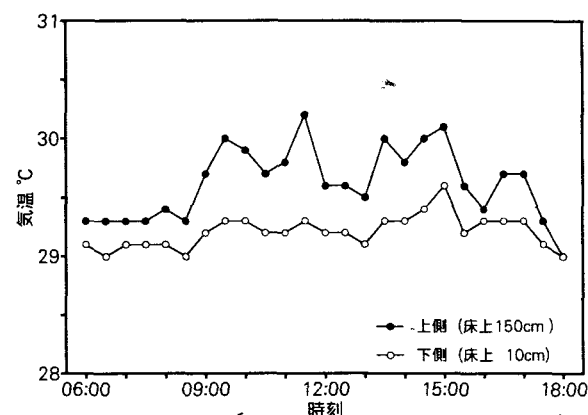


図6 夏季における上下気温分布の日変動（7月14日）

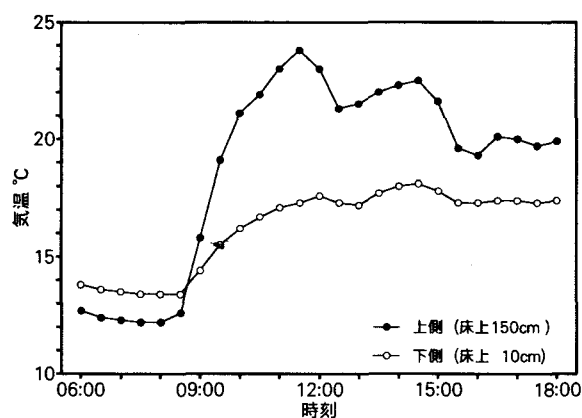


図7 冬季における上下気温分布の日変動 (12月15日)

外授業時間、放課後は下降した。下側気温は、18:00頃までは29℃程度で推移し、その後わずかに下降した。上下気温の差は最大で約1℃であった。

冬季における教室内上下気温分布の日変動の一例として、12月15日の測定結果を図7に示す。暖房運転が始まる始業時までは、上側気温より下側気温が2℃程度高かった。始業直後から、上側気温・下側気温ともに11:00頃まで上昇した。その後、上側気温は昼休憩時に若干変動はあったが、徐々に下降した。下側気温は、上昇した後18℃程度で推移した。上下気温の差は最大で約7℃であった。

夏季における教室内水平気温分布の日変動の一例として、7月14日の測定結果を図8に示す。窓側の気温は、変動がやや激しいが、概ね他の場所に比べ低かった。教室前方の気温は、8:30頃にやや下降したが、その後下降以前の気温まで上昇し、17:00頃から再び下降した。教室後方と廊下側の気温は、ほぼ一定であった。

冬季における教室内水平気温分布の日変動の一例として、12月15日の測定結果を図9に示す。気温は教室前方・後方・窓側・廊下側とも始業時から上昇し、学生が不在となる昼休憩時、教室外授業時間、放課後には下降した。教室後方、窓側、廊下側の両側面は、気温変動がほぼ等しかった。教室前方は、他の場所に比べ気温が高く、気温差は最大7℃程度であった。

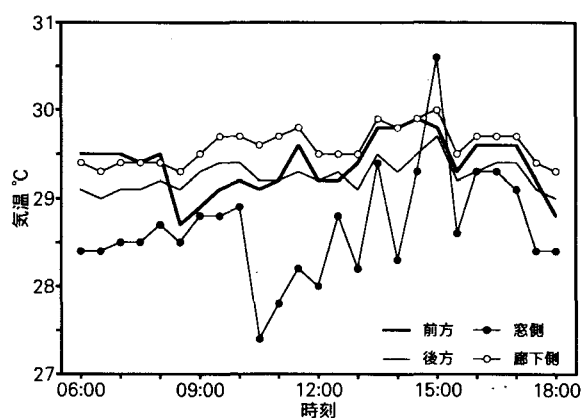


図8 夏季における水平気温分布の日変動 (7月14日)

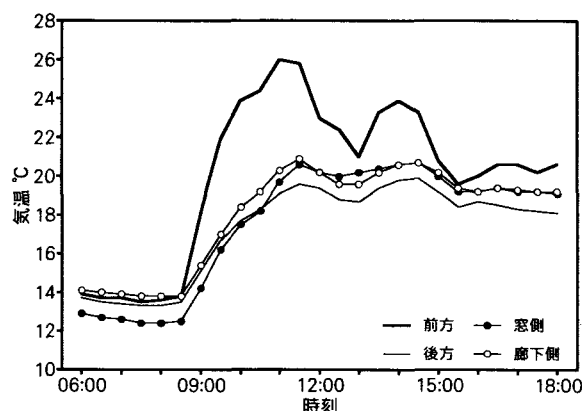


図9 冬季における水平気温分布の日変動 (12月15日)

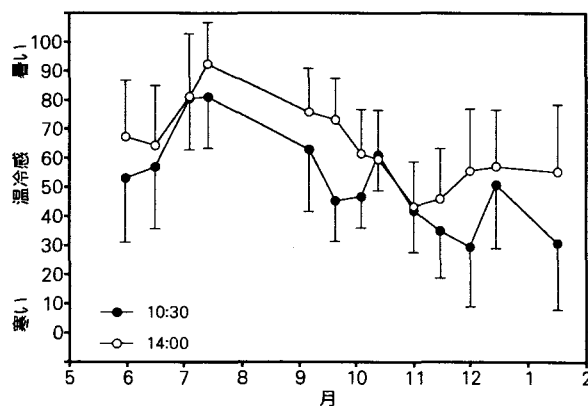


図10 温冷感の年変動 (平均値および標準偏差)

4.4 アンケート結果

温冷感の平均値と標準偏差の年変動を図10に示す。図中の網掛け部分は、夏季休業、冬季休業を示す。温冷感が最も暑い側となったのは、7月14日の午後であり、最も寒い側となったのは、12月1日の午前であった。概ね、年間を通して午前よりも午後の評価がより暑い側であった。また、6月16日、7月4日、10月13日および11月1日は、午前と午後における温冷感、ほぼ等しかった。

熱的快適感の平均値と標準偏差の年変動を図11に示す。快適感が最も快適側となったのは、9月20日の午前

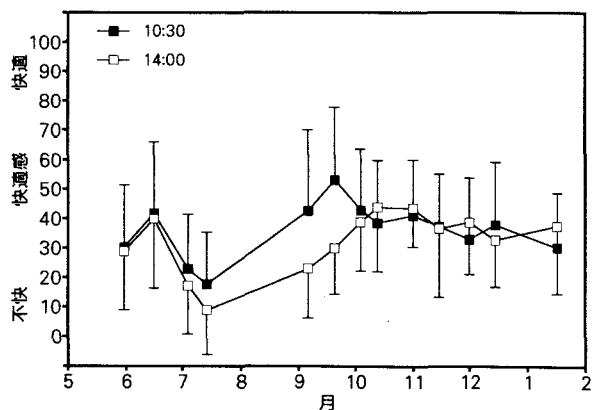


図11 熱的快適感の年変動 (平均値および標準偏差)

であり、最も不快側となったのは、7月14日の午後であった。9月6日および9月20日は、午前に比べ午後の快適感がより不快側であった。両日以外の快適感は、午前、午後の評価は概ね等しかった。また9月20日以降は、快適感が数値にして40程度でほぼ一定に推移した。

着衣量の差による熱の伝わりにくさを定量的に表す、着衣熱抵抗（以下、clo値）の平均値と標準偏差の年変動を図12に示す。clo値¹⁰⁾は着衣量のアンケートから単位衣服のclo値を積算して求めた。測定を開始した、5月31日から9月6日までは、clo値は0.5clo程度で推移し、それ以降は12月1日の値を除けばclo値は徐々に増加する傾向であった。

§ 5 考察

温熱4要素ならびにアンケートによるclo値の測定結果、および学生の活動量を椅座安静であるとして1.0metとし、SET*、PMV、PPDを算出した。

5.1 温熱環境指標の年変動

SET*の平均値および標準偏差の年変動を図13に示す。図中の網掛け部分は、夏季休業、冬季休業を示す。ASHRAEでは、SET*22.2℃～25.6℃を快適域⁵⁾としているが、この快適域と比較すると、概ね半数程度のデータが快適域の範囲内であった。しかし、7月14日と9月6日の計算結果は、快適域の上限を大幅に超えており、7月中旬前後から9月初旬前後は、教室内が暑くて不快な環境であったと考えられる。また、ASHRAEの快適域の下限を下回っている期間は年間を通して認められず、教室内は寒くて不快な環境にはならないと考えられる。

PMVの平均値および標準偏差の年変動を図14に示す。ISO 7730ではPMV±0.5の範囲内を快適域⁷⁾としているが、この快適域と比較すると、概ね半数を越えるデータが快適域に含まれていた。しかし、7月14日と9月6日の計算結果は、PMVが1以上でありSET*同様、この期間教室内が、暑くて不快な環境であったと考えられる。

PPDの平均値および標準偏差の年変動を図15に示す。ISO 7730ではPPD10%以下を快適域⁷⁾としており、大半のデータが快適域に収まっていた。しかし、7月14日と9月6日の計算結果は、PPDが最大で60%程度であり、教室の温熱環境に対して不快を感じている学生が多数いたことが推察される。

5.2 温熱環境指標とアンケート評価との関係

SET*と温冷感の関係を図16に示す。温冷感は分散が大きいものの、多くのデータがASHRAEの快適域内で熱的中立（数値にして50）に多く分布していることが認

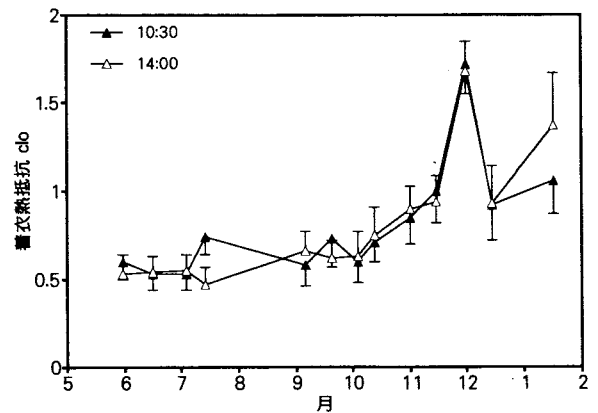


図12 着衣熱抵抗の年変動（平均値および標準偏差）

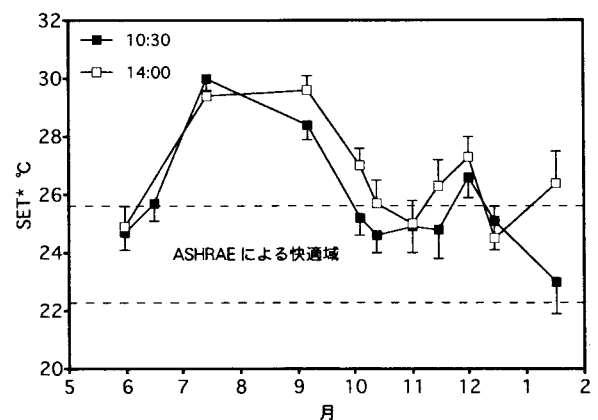


図13 SET*の年変動（平均値および標準偏差）

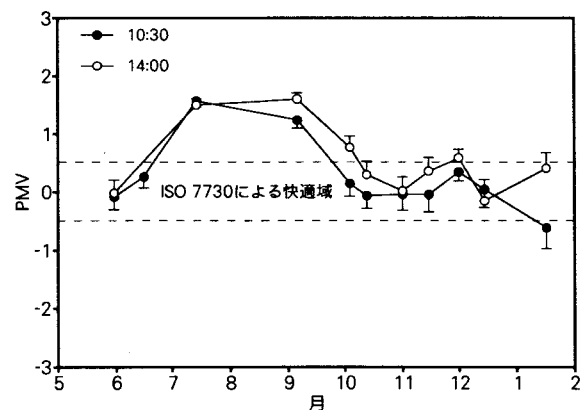


図14 PMVの年変動（平均値および標準偏差）

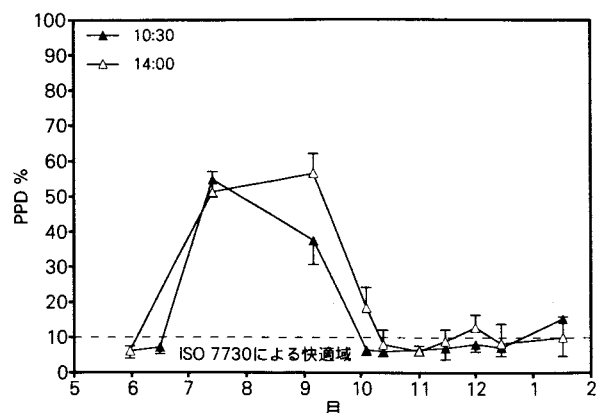


図15 PPDの年変動（平均値および標準偏差）

められる。分散が大きいことの要因として、教室内での座席位置、暑がり寒がりなどの個人差あるいは性差などが考えられる。SET*が29℃を越える付近より、温冷感¹⁾は熱的中立よりも暑い側に多くが分布している。試算した回帰式によると、SET*と温冷感には正の相関が考えられ、熱的中立となるSET*は、25.1℃となる。ASHRAEの快適域と比較すると、範囲の上限値に近い値であると考えられる。

SET*と熱的快適感の関係を図17に示す。温冷感同様分散が大きいものの、熱的中立付近で多くのデータが熱的快適感がより快適側に分布していると考えられる。SET*が熱的中立より高い場合、熱的快適感がより不快側に分布していることが認められるが、SET*が熱的中立より低い場合、データの分布があまり認められなかった。暖房設備が教室内の環境を改善していると考えられる。試算した回帰式によると、SET*と熱的快適感には曲線相関が考えられ、最も快適側となる場合のSET*は24.8℃となる。温冷感と同様、ASHRAEの快適域の上限値に近い値となった。

PMVと温冷感の関係を図18に示す。PMV±1の範囲内では、分散が大きいものの、温冷感の多くは熱的中立である50付近に分布している。PMVが1～2の範囲では、温冷感¹⁾は熱的中立よりも暑い側に分布している。またPMVが-1以下となるデータはほとんど認められなかった。試算した回帰式によると、PMVと温冷感には正の相関が考えられ、PMVが0(暑くも寒くもない)となる場合の温冷感¹⁾は49.2となり、PMVと本研究で用いた尺度の良好な関係性が考えられる。図16のSET*と温冷感の結果と併せて考えてみて、教室内が夏季において暑熱環境となり、在室者である学生も暑いと感じていたことが示されたと考えられる。

PMVと熱的快適感の関係を図19に示す。PMVが±1の範囲内では、分散が大きいものの、熱的快適感¹⁾は多くのデータが、より不快側に分布している。PMVが1～2の範囲では、熱的快適感¹⁾はより不快側に分布している。またPMVが-1以下となるデータはほとんど認められなかった。試算した回帰式によるとPMVと熱的快適感には、曲線相関が考えられ、最も快適側となるPMVは-0.1であり、暑くも寒くもない環境が最も熱的に快適であったと考えられる。図17のSET*と快適感の関係と併せて考えてみて、教室内が夏季において暑くて不快な環境であり、学生は熱的に不快と感じていたことが示されたと考えられる。

作用温度とclo値の関係を図20に示す。作用温度は、放射温度を加味した温度である。作用温度が高くなるにつれ、clo値が小さくなる傾向が認められる。学生が気候変化に対応して、着衣を変えていることが示されたと考えられる。またclo値は値が小さくなるにつれ、分散が

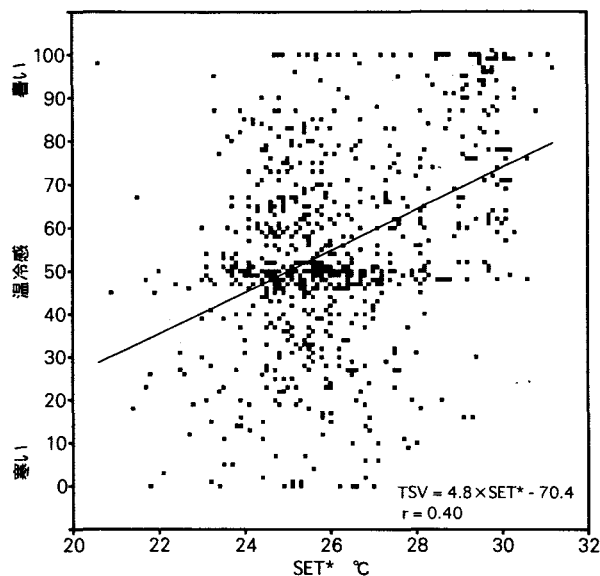


図16 SET*と温冷感の関係

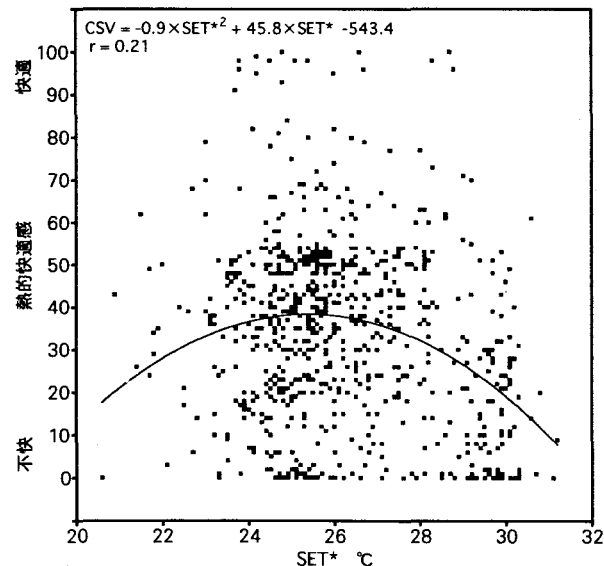


図17 SET*と熱的快適感の関係

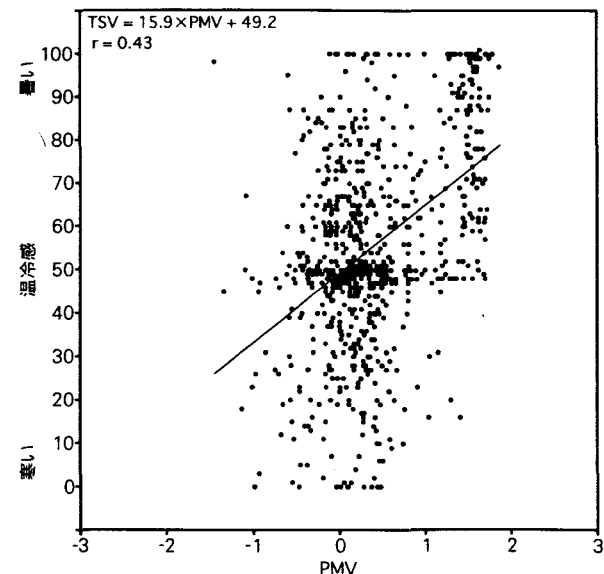


図18 PMVと温冷感の関係

小さくなる傾向が認められる。これは学生の多くが、暑熱環境に対応した最低限の着衣状態であったため、学生間で着衣量の差がほとんどなく、分散が小さくなったと考えられる。ゆえに現状以上に薄着になることは無理であると考えられるので、着衣による温熱環境の調整は不可能であると考えられる。回帰式によると作用温度が最も高温の場合、clo値は0.5cloであった。0.5cloは、男性の服装ならば、およそ半そでカッターシャツ、ズボン、下着を着衣した値であり、女性の服装ならばワンピース、下着類を着衣した値⁹⁾である。

§ 6 まとめ

本研究は、温熱環境要素を通年測定し、同時に学生へ温熱環境、着衣量に関するアンケートを行い、教室の温熱環境を物理的・心理的側面から総合的に評価を試みた。その結果、SET*、PMV、PPDなどの温熱環境指標から考えると、7月中旬頃から9月初旬頃にかけては、教室は暑くて不快な環境であることが考えられる。また学生達によるアンケートの結果も7月中旬頃から9月初旬頃にかけては暑くて不快であるという評価がされていた。以上から教室の温熱環境を総合的に評価すると、夏季において過ごしやすくするために何らかの改善を行う必要があるといえる。その試案として、庇や屋上緑化の施設による環境調節、空気調和設備機器導入による環境制御、授業時間、夏季休業移動による学則変更などが考えられる。これら試案でインシヤルおよびランニングコスト、地球環境への負荷が最小であると考えられるのは、授業時間、夏季休業の移動であると考えられ、改善策として一番適当ではないかと思われる。

引用文献

- 1) 奥宮正哉, 辻本誠, 中原信生: 小中学校の暖房時の室内環境に関する調査, 日本建築学会論文報告集, 第327号, pp. 163-171, 1983
- 2) 都根永, 梅干野晃, 伊藤直明, 飯野由香利: 教師の評価に基づいた温暖地域の小学校教室における冬季の物理環境に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, 第482号, pp. 57-66, 1996
- 3) 山岸明浩, 天野克也, 山下恭弘, 岡村勝司, 堀越哲美: オフィスにおける室内環境の経時的変化と居住後環境評価手法, 日本建築学会計画系論文集, 第460号, pp. 39-50, 1994
- 3) Gagge, A. P., Stolwijk, J. A. J. and Nishi Y.: An effective temperature scale based on a simple model of human physiological regulatory response, ASHRAE Transaction, Vol. 76, pp. 247-262, 1971
- 4) ASHRAE Standard: Thermal environmental conditions for human occupancy, ASHRAE, 1992
- 5) Fanger, P. O.: Thermal comfort, Danish Technical Press, Copenhagen, 1970

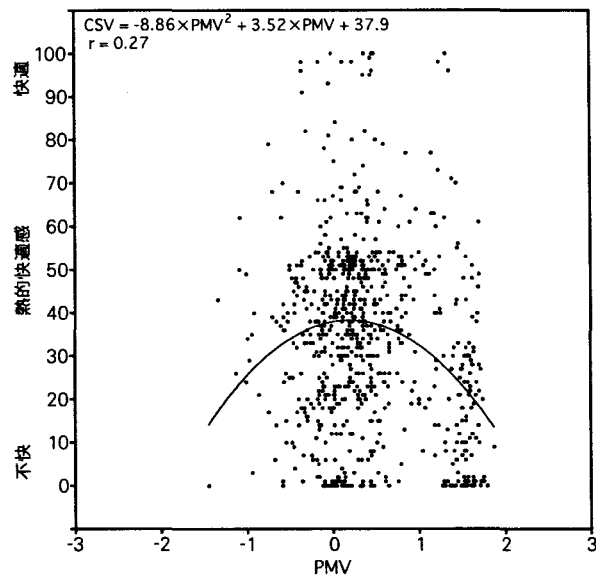


図 19 PMV と熱的快適感の関係

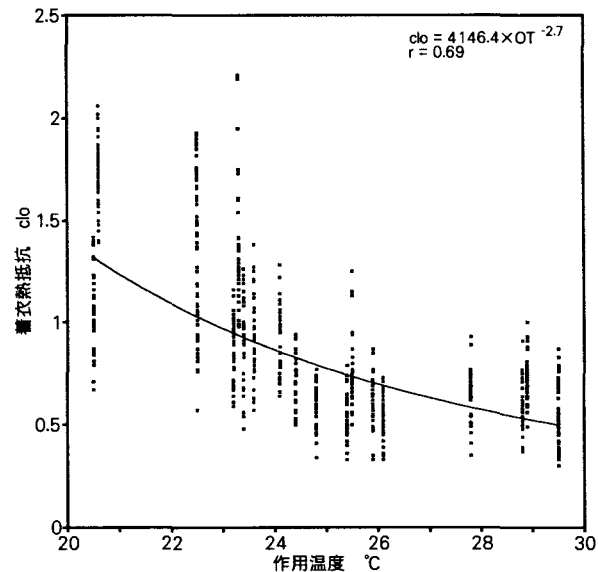


図 20 作用温度と clo 値の関係

- 6) Moderate thermal environments determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort, ISO standard 7730
- 7) 堀越哲美, 磯田憲生, 小林陽太郎: 風洞内温熱環境条件の人体に及ぼす影響に関する実験的研究 (男子裸体) その2 夏期平均皮膚温と温冷感申告, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.27-30, 1974
- 8) 花田嘉代子, 三平和雄, 長谷川陽子: 男女洋服の熱抵抗の測定, 大阪市立大学生活科学部紀要, 第35巻, 1987
- 9) McCullough, E. A. and Jones, B. W.: A comprehensive data base for estimating clothing insulation, IER Technical Report, 84-0., Institute for Environmental Research, Kansas State University, Manhattan, KS. (Final report to ASHRAE research project 411-RP), 1984.

平成12年 1 月～平成12年12月 他誌発表論文

著 者 名	論 文 題 目	発表誌名(巻号, 発行年月) 口頭発表のみの場合は発表会名(発表年月, 場所)
San Pill Lee (広大工) Jin Pan (中国技術振興センター) H. Fukunaga	Effect of Interfacial Shear Strength on Impact Properties of Nb/MoSi ₂ Laminate Composites	Materials Transactions, JIM, Vol.41, No.7 (2000) pp.831-836.
佐々木元 (広大工) 吉田 誠 (広大工) 福永秀春	マグネシウム合金基複合材料の製造方法と微細組織評価	まてりあ第39巻, 第6号 (2000), pp.519-525.
J. Pan (中国技術振興センター) Makoto Yoshida (広大工) Gen Sasaki (広大工) Hideharu Fukunaga H. Fujimura (広島アルミ) M. Matsuura (広島アルミ)	Ultrasonic Insert Casting of Aluminum Alloy	Scripta Materialia, 43 (2000), pp.155-159.
吉田 誠 (広大工) 瀧 圭司 (広大工) 福永秀春	高圧铸造凝固部材中の微小空隙の生成挙動と機械的性質に及ぼす溶湯水素量の影響	軽金属, 第50巻, 第7号 (2000), pp.325-329.
J. P. Tu (広大工) Jin Pan (中国技術振興センター) Hideharu Fukunaga	Strength Degradation of Si-C-O Fiber Reinforced Aluminum Composite in Saline Environment	Journal of Materials Science Letter, 19 (2000), pp.1021-1023.
Gen Sasaki (広大工) Syunsuke Hara (広大工) Makoto Yoshida (広大工) Jin Pan (中国技術振興センター) Nobuyuki Fuyama (西部工技センター) Toshio Fujii (西部工技センター) Hideharu Fukunaga	Fabrication and Microstructure Analysis of Al ₁₈ B ₄ O ₃₃ Ceramics Reinforced Magnesium Alloy Matrix Composites	Magnesium Alloys and Their Applications, (2000), pp.257-262.
S. P. Lee (広大工) M. Yoshida (広大工) H. Fukunaga	Interfacial Modification and Impact Properties of Nb/MoSi ₂ Laminate Composites by the Addition of ZrO ₂ , NbSi ₂ , and SiC Particles	Metallurgical and Materials Transactions, 31A (2000), pp.2075-2081.
吉田 誠 (広大工) 福永秀春 佐々木元 (広大工) 西田恵哉 (広大工) 吉崎拓男 (広大工) 潘 進 (中国技術振興センター)	クリーン・省エネダイカストシステムの研究開発	JAPAN DIE CASTING ASSOCIATION, 2000, PP.61-72.
李常ピル (広大工) 佐々木元 (広大工) 福永秀春	Nb/MoSi ₂ -ZrO ₂ 積層複合材料の衝撃特性に及ぼす製造温度とNb板体積率の影響	日本金属学会誌, 第64巻, 第12号 (2000), pp.1245-1251.
S. P. Lee (広大工) H. Fukunaga	Interfacial Reaction Layer of Nb/MoSi ₂ Laminate Composites and Its Effect of Fracture Characteristics	Scripta Materialia, 43 (2000), pp.795-799.
J. Pan (中国技術振興センター) M. Yoshida (広大工) G. Sasaki (広大工) H. Fukunaga	Metal Pipe Joining with Aluminum Alloy by Ultrasonic Insert Casting	Materials and Manufacturing Processes, Vol.15, No.6 (2000), pp.867-881.
J. Pan (中国技術振興センター) G. Sasaki (広大工) L. J. Yao (ハネウエル) M. Yoshida (広大工) H. Fukunaga	Interfacial Reaction and Its Effect on Strength of Al ₁₈ B ₄ O ₃₃ /Al Composites	Matallurgical Abstracts on Light Metals and Alloys, Vol.33 (1999-2000), pp.159-161.

著 者 名	論 文 題 目	発表誌名(巻号, 発行年月) 口頭発表のみの場合は発表会名(発表年月, 場所)
Makoto Yoshida (広大工) S. Takeuchi (広大工) J. Pan (中国技術振興センター) Gen Sasaki (広大工) N. Fuyama (西部工技センター) T. Fujii (西部工技センター) Hideharu Fukunaga	Mechanical properties of aluminum borate whisker reinforced AZ91D magnesium alloy composites by semi-solid process	Proceedings of 9th United States-Japan Conference on Composite Materials, 2000.7, pp.201-208.
J. Pan (中国技術振興センター) A. Okamoto (広大工) M. Yoshida (広大工) G. Sasaki (広大工) H. Fukunaga	Effect of Wisker Surface Treatment on the Strength of $Al_{18}B_4O_{33}/Al$ Alloy Composites	Proceedings of 9th United States-Japan Conference on Composite Materials, 2000.7, pp. 209-216.
永久堅也 (広大工) 吉田 誠 (広大工) 潘 進 (中国技術振興センター) 佐々木元 (広大工) 福永秀春 太田直人 (宇部興産) 石川敏弘 (宇部興産)	SiC繊維強化酸化物マトリックス複合材料の作製と機械的性質	各種環境下における繊維強化複合材料の力学特性.九州大学応用力学研究所報告 (2000.3), pp.39-42.
Gen Sasaki (広大工) Makoto Yoshida (広大工) J. Pan (中国技術振興センター) N. Fuyama (西部工技センター) T. Fujii (西部工技センター) Hideharu Fukunaga	Mechanical properties and Microstructure of Magnesium Alloys Composites Fabricated by Casting	Materials Science Forum, Vol.350-351, 2000.7, pp.215-220.
Jin Pan (中国技術振興センター) Sang Pill Lee (広大工) Makoto Yoshida (広大工) Gen Sasaki (広大工) Hideharu Fukunaga	Preparation and Characterization of TiC Film by Electrical Discharge Coating Process	Proceedings of The 17th International Korea-Japan Seminar on Ceramics, 2000.11, pp.141-145.
Isao Tsuchitori (西部工技センター) Toshio Fujii (西部工技センター) Nobuyuki Fuyama (西部工技センター) Hideharu Fukunaga	Synthesis of Alumina Dispersed Al-Ti Intermetallic Matrix Composites by Reaction	Proceedings of The 17th International Korea-Japan Seminar on Ceramics, 2000.11, pp.331-335.
S. C. Huh (東義大) W. J. Park (東義大) H. K. Yoon (東義大) S. P. Lee (広大工) H. Fukunaga	Fatigue Life Characteristic of $Al_{18}B_4O_{33}/AC4CH$ Composites	Proceedings of The 17th International Korea-Japan Seminar on Ceramics, 2000.11, pp.502-506.
J. Pan (中国技術振興センター) G. Sasaki (広大工) M. Yoshida (広大工) H. Fukunaga	Preparation of Spinel Coated $Al_{18}B_4O_{33}$ Whisker Reinforced Aluminum Alloy Composites	第4回日中複合材料交流会論文集 (2000.12) pp.88-89.
D. Wang (長沙大) G. Y. Sha (長沙大) J. Pan (中国技術振興センター) H. Fukunaga	Fabrication and characterization of WC/Cr-Ni steel composites	第4回日中複合材料交流会論文集 (2000.12) pp.90-91.
Shunsuke Hara (広大工) G. Sasaki (広大工) M. Yoshida (広大工) J. Pan (中国技術振興センター) Toshio Fujii (西部工技センター) Hideharu Fukunaga	Fabrication and Microstructure of Magnesium Alloy Matrix Composites in Semi-solid Stir Technique	第4回日中複合材料交流会論文集 (2000.12) pp.175-178.

著 者 名	論 文 題 目	発表誌名(巻号, 発行年月) 口頭発表のみの場合は発表会名(発表年月, 場所)
福永秀春 吉田 誠 (広大工) 佐々木元 (広大工) 潘 進 (中国技術振興センター)	ダイキャストプロセスにおける粉体離型潤滑剤の役割	第8回フィラーシンポジウム論文集, 平成12年11月, pp.59-62.
Makoto Yoshida (広大工) Kenya Nagahisa (広大工) Kazuya Kitatani (広大工) Naoto Ohta (宇部興産) Toshihiro Ishikawa (宇部興産) Jin Pan (中国技術振興センター) Gen Sasaki (広大工) Hideharu Fukunaga	Fabrication and Mechanical Properties of the SiC Fiber Reinforced Oxide Matrix Composites	Proceedings of Second International Conference on Processing Materials for Properties, 2000, 8, pp.121-126.
佐々木元 (広大工) 永久堅也 (広大工) 吉田 誠 (広大工) 潘 進 (中国技術振興センター) 福永秀春	焼結SiC繊維強化MASガラス複合材料の微細構造	日本電子顕微鏡学会第56回学術講演会論文集 平成12年5月 pp.57-57.
Gen Sasaki (広大工) Shunsuke Hara (広大工) Makoto Yoshida (広大工) Jin Pan (中国技術振興センター) Nobuyuki Fuyama (西部工技センター) Toshio Fujii (西部工技センター) Hideharu Fukunaga	Processing and Microstructure of Magnesium Alloy Matrix Composites	Proceedings of Second International Conference on Processing Materials for Properties, 2000, 8, pp.323-328.
Hideharu Fukunaga Sang-Pill Lee (広大工)	MMCs by Reactive and Semi-Solid Squeeze Casting Process	Oxford-Kobe Materials Seminar, Metal and Ceramic Matrix Composites 2000, 9, pp.210-219.
Hideharu Fukunaga	New Processing of Whisker Reinforced Metal Matrix Composites	2nd International Conference on Processing Materials for Properties (PMP-2), 2000, 11 pp. CD-ROM.
Gen Sasaki (広大工) Shunsuke Hara (広大工) Makoto Yoshida (広大工) Jin Pan (中国技術振興センター) Nobuyuki Fuyama (西部工技センター) Toshio Fujii (西部工技センター) Hideharu Fukunaga	Processing and Microstructure of Magnesium Alloy Matrix Composites	Proceedings of Second Asian-Australian Conference on Composite Materials (ACCM-2000) 18-20 August 2000, 8, Kyongju Korea, pp.323-328.
福永秀春ほか16名	粉体離型潤滑剤を用いた素形材加工エコシステムの研究開発 (第3部)	中国技術振興センター研究成果報告書, 12年3月, pp.1-148.
木原滋哉	「九州・沖縄」における社会運動ネットワークの形成・試論	石川捷治・平井一臣編『地域から問う国家・社会・世界』(ナカニシヤ出版, 2000年10月)
笠松義隆 鹿又 武 (東北学院大) 佐々木達治 (東北学院大) 松本 實 (東北大学材料研) 檜原忠幹 (福山大)	コバルト系ホイスラー合金のNMR	日本物理学会講演概要集 (2000年3月, 大阪)
地主弘幸 (福山大) 笠松義隆 平岡耕一 (愛媛大工) 小島健一 (広大総合科) 檜原忠幹 (福山大) 川上正之 (鹿児島大理)	$Mn_3(Ge_{1-x}Si_x)_2$ のNMR	日本物理学会講演概要集 (2000年3月, 大阪)

著 者 名	論 文 題 目	発表誌名(巻号, 発行年月) 口頭発表のみの場合は発表会名(発表年月, 場所)
平岡耕一 (愛媛大工) 刈谷 喬 (愛媛大工) 富吉昇一 (愛媛大工) 笠松義隆 地主弘幸 (福山大) 檜原忠幹 (福山大)	MnBiの圧力誘起磁気相転移	日本物理学会講演概要集 (2000年 3 月, 大阪)
地主弘幸 (福山大) 笠松義隆 平岡耕一 (愛媛大工) 小島健一 (廣大総合科) 檜原忠幹 (福山大) 川上正之 (鹿児島大理)	Mn-Ge系化合物のNMR	日本物理学会講演概要集 (2000年 9 月, 新潟)
橋原孝博 (広島大) 金 致偉 (広島大) 佐賀野健 小村 堯 (広島大) 西村清巳 (広島大)	バレーボールのワイド攻撃に関する技術研究	スポーツ方法学研究 (第13巻第 1 号, 平成12年 3 月)
能登原祥之 石井淳二 田邊達雄 (広島県立保健福祉大学) 川尻武信 周藤剛士 岡中正三	Eメールを利用した国際交流授業の実践	「工学教育」第48巻 第 3 号 (2000年 5 月)
江口 誠	Keats as an Anti-Monarchist	英詩評論 (第16号) 平成12年 6 月 1 日発行
八木良尚	エレクトロスプレイに関する基礎研究	実践教育 (Vol.15, No.2, 2000年 3 月)
八木良尚	自主的な卒業研究による教育的な効果	2000年度実践教育研究発表会講演予稿集 (2000年 9 月, 山形)
永村 和照 (広島大) 野原 稔 池条清隆 (広島大) 佐藤輝英 (広島大院) 松尾浩平 (ジャパンエナジー)	低速・高荷重におけるローラ表面の損傷に及ぼす潤滑油添加剤の影響	日本機械学会2000年度年次大会講演論文集, (2000), 427-428.
岩本英久	ロボットサージャリーのための運針術に関する基礎的研究	平成11年度笹川科学研究助成金研究完了報告書 (2000年 2 月)
関 洲二 (岡大医) 岩本英久	針, 持針器	消化器外科「手術に使用する器械マニュアル」(Vol.23, No.25), 2000年 4 月, へるす出版
岩本英久 関 洲二 (岡大医)	運針による医原性組織損傷の軽減法-縫合針の軌道を制する術者の動き	日本外科学会雑誌 (第101巻) (2000年 4 月, 東京)
岩本英久	手術作業支援のための術中器械総合管理システムの開発に関する研究	平成11年度古川技術振興財団技術開発研究助成金研究成果報告書 (2000年 4 月)
Iwamoto Hidehisa Osaki Hirokazu (Okayama Univ.) Seki Shuji (Okayama Univ.)	A Study on a Handling Force of the Needle Holder for a Robot Suturing in a Surgery	Proceedings of the Fifth China-Japan International Symposium on Industrial Management (October 2000, Beijing in China)
中迫正一 灘野宏正 河野正来 山下裕司 (呉高専・専攻科生)	高真空および大気中における平歯車の摩擦・摩耗特性 (ステンレス鋼SUS440Cの場合)	日本機械学会論文集 (C編) (66巻641号, 2000年 1 月)
灘野宏正 中迫正一 河野正来	ラジカル窒化ステンレス鋼SUS440C歯車のスコ어링強さ	日本機械学会中国四国支部第38期総会・講演会講演論文集 (No.005-1, 2000年 3 月, 東広島)

著 者 名	論 文 題 目	発表誌名(巻号, 発行年月) 口頭発表のみの場合は発表会名(発表年月, 場所)
中迫正一 灘野宏正 河野正来 山下裕司 (呉高専・専攻科生) 深田一徳 (鋼鉄工業)	二円筒試験におけるラジカル窒化ステンレス鋼の摩擦特性	日本機械学会論文集 (C編) (66巻643号, 2000年3月)
河野正来 灘野宏正 中迫正一 深田一徳 (鋼鉄工業)	プラズマ表面硬化処理を施したステンレス鋼歯車のスコ어링強さ	日本設計工学会中国支部講演論文集 (No.18, 2000年6月, 広島)
灘野宏正 中迫正一 河野正来 濱西はるみ (呉高専・専攻科生) 仁後 悟 (同和鉄粉工業)	鉄-銅系粉末焼結材料の摩擦・摩耗特性	トライボロジスト (45巻10号, 2000年10月)
野田善友 (呉高専・専攻科生) 灘野宏正 中迫正一 河野正来 深田一徳 (鋼鉄工業)	ラジカル窒化ステンレス鋼SUS440Cの焼付き強さ (二円筒試験と歯車試験の比較)	日本機械学会徳島地方講演会講演論文集 (No.005-2, 2000年10月, 徳島)
Masakazu NAKASAKO Hiromasa NADANO Masaki KOHNO Kazunori FUKADA (鋼鉄工業) Yoshitomo NODA (呉高専・専攻科生)	Seizure Resistance of Radical Nitrided Stainless Steel (SUS440C) in Two Roller Test and Gear Test	Synopses of the International Tribology Conference Nagasaki, 2000 (November 2000, Nagasaki)
F. Kuroki A. Kidani E. Suematsu (Sharp Co.) H. Sato (Sharp Co.) T. Yoneyama (Tohoku Inst. of Tech.)	NRD Guide Transmitter/Receiver for Distribution of Multimedia Information Source at 60GHz	Topical Symp. on Millimeter Waves (March, 2000 in Yokosuka)
F. Kuroki	Foresight of the NRD-Guide Invented by Prof. Tsukasa Yoneyama	Invited Paper of Topical Symp. on Millimeter Waves (March, 2000 in Yokosuka)
黒木太司 山下高史 米山 務 (東北工業大学)	モード結合を考慮したNRDガイドリング共振器の設計	電子情報通信学会総合大会 (2000, 3月, 広島)
黒木太司 山下高史 米山 務 (東北工業大学)	レーストラック型リング共振器用いたNRDガイド分波器	電子情報通信学会総合大会 (2000, 3月, 広島)
黒木太司 中村昭造 福地稔栄 (古河電工株) 米山 務 (東北工業大学)	帯域フィルタ内蔵77GHz帯反射型NRDガイドBPSK変調器	電子情報通信学会総合大会 (2000, 3月, 広島)
黒木太司 梅木康克 中村昭造	LSE01モード伝送高誘電率NRDガイドを用いたミリ波アンテナ	電子情報通信学会総合大会 (2000, 3月, 広島)
黒木太司 末松英治 (シャープ株) 佐藤浩哉 (シャープ株) 米山 務 (東北工業大学)	マルチメディア情報伝送用60GHz帯NRDガイド送受信機	電子情報通信学会総合大会 (2000, 3月, 広島)

著 者 名	論 文 題 目	発表誌名(巻号, 発行年月) 口頭発表のみの場合は発表会名(発表年月, 場所)
F. Kuroki T. Yamashita T. Yoneyama (Tohoku Inst. of Tech.)	Design of NRD Guide Ring Resonator Based on Mode Coupling Theory	China-Japan Joint Meeting on Microwaves (April, 2000 in Nanjing)
F. Kuroki M. Sugioka T. Danhara H. Sato (Sharp Co.) T. Yoneyama (Tohoku Inst. of Tech.)	New Type of High Speed Pulse Radar Based on the NRD Guide Technology at 60GHz Band	IEEE MTT-S Microwave Symp. (June, 2000 in Boston)
F. Kuroki M. Sugioka E. Suematsu (Sharp Co.) H. Sato (Sharp Co.) T. Yoneyama (Tohoku Inst. of Tech.)	NRD Guide Front Ends for Multi-Channel TV Signal Distribution System at 60GHz	Progress in Electromagnetics Research Symp. (July, 2000 in Boston)
J. Baba (Kyushu Matsushita Co.) F. Kuroki T. Yoneyama (Tohoku Inst. of Tech.)	Fabrication of NRD Guide BPSK Modulator at 60GHz	Progress in Electromagnetics Research Symp. (July, 2000 in Boston)
F. Kuroki Y. Umeki S Nakamura	New Type of Millimeter-Wave Antenna by Using The NRD Guide with LSE Mode Transmission	Invited Paper of International Symp. on Antenna and Propagation. (August, 2000 in Fukuoka)
黒木太司 山口倫史 米山 務 (東北工業大学)	ミリ波パルスレーダの一構成法	電気関係学会中国支部連合大会 (2000, 10月, 岡山)
黒木太司 新家 暁 米山 務 (東北工業大学)	セラミック共振を用いたミリ波フィルタの広帯域化	電気関係学会中国支部連合大会 (2000, 10月, 岡山)
黒木太司 瀬戸香樹 梅木康克	LSEモード伝送NRDガイド給電ミリ波扇形ビームアンテナ	電気関係学会中国支部連合大会 (2000, 10月, 岡山)
黒木太司 山口倫史 米山 務 (東北工業大学)	NRDガイドを用いた60GHz帯高精度近距離計測パルスレーダ	電子情報通信学会マイクロ波研究会 (2000, 11月, 福岡)
黒木太司 新家 暁 米山 務 (東北工業大学)	セラミック共振器を用いた広帯域NRDガイドミリ波帯域フィルタとその応用	電子情報通信学会マイクロ波研究会 (2000, 11月, 福岡)
黒木太司	ミリ波帯における導波路及び回路の諸問題	通産省・財新機構素子研究開発協会主催超高周波デバイス・無線システム技術調査研究委員会, 2000年11月
F. Kuroki T. Yamashita T. Yoneyama (Tohoku Inst. of Tech.)	Design and Fabrication of NRD Channel Dropping Filter	The 12th Asia Pacific Microwave Conference (December, 2000 in Sydney)
Yoshio Yokose Vlatko Cingoski (Hiroshima Univ.) Hideo Yamashita (Hiroshima Univ.)	Genetic Algorithms with Assistant Chromosomes for Inverse Shape Optimization of Electromagnetic Devices	IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 36, No.4, pp. 1052-1056, 2000.

著 者 名	論 文 題 目	発表誌名(巻号, 発行年月) 口頭発表のみの場合は発表会名(発表年月, 場所)
Yoshio Yokose Vlatko Cingoski (Hiroshima Univ.) Kazufumi Kaneda (Hiroshima Univ.) Hideo Yamashita (Hiroshima Univ.)	Performance Comparison Between Gray Coded and Binary Coded Genetic Algorithms for Inverse Shape Optimization of Magnetic Devices	Applied Electromagnetics, pp.115-120, 2000.
横瀬義雄	目に見えない電磁界現象の可視化	電気学会誌, Vol.120, No5, p.303, 2000.
Yoshio Yokose So Noguchi (Hiroshima Univ.) Hideo Yamashita (Hiroshima Univ.)	Performance for the Hybrid Method Using Stochastic and Deterministic Searching for Shape Optimization of Electromagnetic Devices	3rd Japanese-Bulgarian-Macedonian Joint Seminar on Applied Electromagnetics Abstracts, pp.39-40, 2000. (September 15-17, 2000, Ohrid, MACEDONIA)
Yoshio Yokose Hideo Yamashita (Hiroshima Univ.)	Estimate Gradient Method for Optimization Procedures of Electromagnetic Devices	The Ninth Biennial IEEE Conference on Electromagnetic Field Computation. Abstracts, p. 349, 2000. (June 4-7, 2000, Milwaukee, Wisconsin, USA)
横瀬義雄 野口 聡 (広島大) 山下英生 (広島大)	制約条件を考慮する目的関数を用いた遺伝的アルゴリズムによる電磁機器の形状設計 (Genetic Algorithm with restriction conditions of objective functions for shape optimization of electromagnetic devices)	第9回 MAGDA Conference 講演論文集, pp. 173-176, 2000. (March 20-21, 2000, Brisbane, AUSTRALIA)
横瀬義雄 野口 聡 (広島大) 金田和文 (広島大) 山下英生 (広島大)	傾斜法と直接法の併用法による電磁機器の形状設計	平成12年度電気・情報関連学会中国支部連合大会 講演論文集, p.456, 2000. (2000年10月21日 岡山大学, 岡山市)
福島 学 横沼実雄 野村利英	超伝導体浮上のための磁石配置に関する一考察	平成12年度電気・情報関連学会中国支部第51回連合大会講演論文集 (平成12年10月21日, 岡山大学)
Y. Bando Y. Echizen (広島) T. Takabatake (広島)	Thermoelectric power of $\text{CeNi}_{1-x}\text{TxSn}$ ($\text{T}=\text{Co, Cu, Pt}$) and $\text{Ce}_{1-y}\text{La}_y\text{NiSn}$ ($x, y=0.01$ and 0.05)	Physica B 281 & 282 (2000) 294-295
Y. Bando T. Suemitsu (広島) K. Takagi (広島) H. Tokushima (広島) Y. Echizen (広島) K. Umeo (広島) Y. Maeda (広島) T. Takabatake (広島) K. Katoh (防衛大)	Large thermoelectric power in several metallic compounds of cerium and uranium	Journal of Alloys and Compounds 313 (2000) 1-6
藤井敏則 船曳繁之 (島根大)	A Neuro-Fuzzy-Based Control Strategy for Leveling Load Power Fluctuations - Optimization of SMES capacity and learning coefficients with Genetic Algorithm -	Proceedings of international power electronics conference tokyo pp.1567-1572 (2000年4月 東京)
藤井敏則 福田 匠 船曳繁之 (島根大)	ニューロ・ファジィ負荷変動抑制法 - 遺伝的アルゴリズムによる創発的なパラメータの探索 -	平成12年電気学会産業応用部門全国大会 No.228 (2000年8月 徳島)
藤井敏則 松本憲児 船曳繁之 (島根大)	全方向移動ロボットのニューロ・ファジィ制御法	電気・情報関連学会中国支部連合大会, No. 032305 (2000年10月 岡山)
藤井敏則 福田 匠 船曳繁之 (島根大)	ニューロ・ファジィ負荷変動抑制法 - GAによる最適化法の一考察 -	電気・情報関連学会中国支部連合大会, No. 032306 (2000年10月 岡山)

著 者 名	論 文 題 目	発表誌名(巻号, 発行年月) 口頭発表のみの場合は発表会名(発表年月, 場所)
大西義浩 山本 透 (広島大学) S. L. Shah (University of Alberta)	1 次遅れ + むだ時間系に対するセルフチューニングPID制御系の一設計	第20回適応制御シンポジウム資料 (計測自動制御学会), pp.67-70 (2000年 1 月)
Yoshihiro Ohnishi Toru Yamamoto (Hiroshima University) S. L. Shah (University of Alberta)	A Design of Self-Tuning PID Controller with a Time-Delay Compensator	Preprint of IFAC Workshop on Digital Control: Past, Present and Future of PID Control, pp.654-659, (2000年 4 月, スペイン・テラッサ)
Yoshihiro Ohnishi Toru Yamamoto (Hiroshima University) S. L. Shah (University of Alberta)	Design of a Multivariable Self-Tuning PID Controller with an Internal Model Structure	Proc. of IEEE Symposium 2000 on Adaptive Systems for Signal Processing, Communications, and Control, pp.437-440 (2000年10月, カナダ・レイクルイーズ)
大西義浩 山本 透 (広島大学) 大松 繁 (大阪府立大学)	ニューラルネットワークを用いた知的制御系の一設計	平成12年電気関連学会関西支部連合大会 (2000年11月, 大阪)
小堀慈久 田淵義尚 (京都大) 加藤省二 力石美希子 (呉高専・専攻科)	豪雨時の土地利用により異なる崩壊形態の分類	第12回地盤工学会四国支部技術研究発表会 (2000年 9 月 松山)
小堀慈久 田淵義尚 (京都大) 加藤省二 力石美希子 (呉高専・専攻科)	地盤造成と山腹斜面崩壊の関係	地すべりと斜面崩壊に関するシンポジウム, 地盤工学会四国支部, (2000年 9 月 松山)
小堀慈久 佐川 修 (山口大) 力石美希子 (呉高専・専攻科)	平成11年 6 月集中豪雨による呉のまさ土斜面崩壊	愛媛大学創立50周年記念シンポジウム論文集, 地盤工学会四国支部, pp.1~6, (2000年11月 松山)
小堀慈久 佐川 修 (山口大) 力石美希子 (呉高専・専攻科)	まさ土の物理的・力学的諸特性	愛媛大学創立50周年記念シンポジウム論文集, 地盤工学会四国支部, pp.71~76 (2000年11月 松山)
小堀慈久 佐川 修 (山口大) 力石美希子 (呉高専・専攻科)	破砕性まさ土の力学及びサクシオン特性	第52回土木学会中国支部研究発表概要集 (2000年 6 月 広島)
小堀慈久 高田真希 (水野工学研究所) 佐川 修 (山口大) 力石美希子 (呉高専・専攻科)	平成11年 6 月の土砂崩壊と降雨分布の研究	第52回土木学会中国支部研究発表概要集 (2000年 6 月 広島)
小堀慈久 坊垣内真 (山口大) 平本恵三 (福井大) 力石美希子 (呉高専・専攻科)	斜面崩壊地域の力学的特性	第52回土木学会中国支部研究発表概要集 (2000年 6 月 広島)
小堀慈久 佐川 修 (山口大) 力石美希子 (呉高専・専攻科) 清水未来 (広島県)	平成11年斜面災害の崩壊要因の分析	第52回土木学会中国支部研究発表概要集 (2000年 6 月 広島)
小堀慈久 赤木知之 (豊田高専) 吉村優治 (岐阜高専) 上 俊二 (徳山高専) 伊藤 孝 (豊田高専)	土質工学	コロナ社 (2000年 12月)
岡本二郎 河野友紀 (呉高専)	神戸市の近代建築とその保存方法について	日本建築学会中国支部研究報告集 第23巻 (平成12年 3 月)
岡本二郎 吉川幸亜 (呉高専)	横浜市の近代建築とその保存方法について	日本建築学会中国支部研究報告集 第23巻 (平成12年 3 月)

著 者 名	論 文 題 目	発表誌名(巻号, 発行年月) 口頭発表のみの場合は発表会名(発表年月, 場所)
岡本二郎 安藤元気 (呉高専)	大阪市の近代建築とその保存方法について	日本建築学会中国支部研究報告集 第23巻 (平成12年3月)
岡本二郎	呉の煉瓦塀にみられる柄紋について	日本生活学会第27回秋季研究発表梗概 (生活 学会報 Vol.27 No.1) (2000年10月)
小松孝二 (香川大学) 市坪 誠 竹村和夫 長町三生 (広島国際大学) 今田寛典 (呉大学) 谷本泰雄 (専攻科)	多変量解析を用いた測量教育に関する一考察	応用測量論文集, Vol.11, pp.25-30, 2000.6
市坪 誠 小松孝二 (香川大学) 竹村和夫 今田寛典 (呉大学) 迫井裕樹 (専攻科)	土木遺産の地理情報評価に関する研究	応用測量論文集, Vol.11, pp.63-68, 2000.6
小松孝二 (香川大学) 市坪 誠 竹村和夫 今田寛典 (呉大学) 長町三生 (広島国際大学)	過疎地における福祉情報計画に関する一考察	第14回 環境情報科学論文集, pp.177-182, 2000.11
市坪 誠	1.4 汚れ	コンクリート技術シリーズ コンクリート構 造物のデザイン, pp.18-25, 2000.5
Makoto Ichitsubo Koji Komatsu (香川大学) Kazuo Takemura Mitsuo Nagamachi (広島国際大学) Yasuo Tanimoto (専攻科) Shigekazu Ishihara (広島国際大学) Tatsuo Nishino (広島国際大学)	A Study on Designing for Finding The Shape Beauty of a Bridge	The Fifth CHINA-JAPAN International Symposium on Industrial Management, pp.228-233, 2000.10
Koji Komatsu (香川大学) Makoto Ichitsubo Mitsuo Nagamachi (広島国際大学) Yu-uki Sakoi (専攻科) Hirohumi Imada (呉大学) Tatsuo Nishino (広島国際大学) Shigekazu Ishihara (広島国際大学)	A Study on Regional Planning of Depopulated Area	The Fifth CHINA-JAPAN International Symposium on Industrial Management, pp. 239-244, 2000.10
小松孝二 (香川大学) 竹村和夫 市坪 誠 今田寛典 (呉大学) 細田賀津美 (専攻科)	中山間地の地域情報計画に関する一考察	第52回土木学会中国支部研究発表会発表概要 集, pp.533-534, (2000.6, 広島)
谷本泰雄 (専攻科) 市坪 誠 竹村和夫 山口隆司 小松孝二 (香川大学)	橋梁における景観設計エキスパートシステム に関する一考察	第52回土木学会中国支部研究発表会発表概要 集, pp.563-564, (2000.6, 広島)
迫井裕樹 (専攻科) 市坪 誠 竹村和夫 小松孝二 (香川大学)	コンクリート構造物の劣化評価に関する一考 察	第52回土木学会中国支部研究発表会発表概要 集, pp.633-634, (2000.6, 広島)

著 者 名	論 文 題 目	発表誌名(巻号, 発行年月) 口頭発表のみの場合は発表会名(発表年月, 場所)
市坪 誠 竹村和夫 小松孝二 (香川大学) 村上正幸 (ヒロコン)	建設材料の濡れ評価に関する一考察	第52回土木学会中国支部研究発表会発表概要集, pp.637-638, (2000.6, 広島)
石原茂和 (広島国際大学) 石原恵子 (広島国際大学) 長町三生 (広島国際大学) 小松孝二 (香川大学) 市坪 誠 西野達夫 (広島国際大学)	カーネル密度推定法による感性非線形の分析	第2回日本感性工学会大会予稿集2000, pp.51, (2000.9, 東京)
西野達夫 (広島国際大学) 長町三生 (広島国際大学) 石原茂和 (広島国際大学) 石原恵子 (広島国際大学) 市坪 誠 小松孝二 (香川大学)	カラーの感性工学的研究	第2回日本感性工学会大会予稿集2000, pp.52, (2000.9, 東京)
小松孝二 (香川大学) 市坪 誠 長町三生 (広島国際大学) 石原茂和 (広島国際大学) 西野達夫 (広島国際大学)	協調的感性デザイン構築の実験的研究	第2回日本感性工学会大会予稿集2000, pp.113, (2000.9, 東京)
小松孝二 (香川大学) 竹村和夫 市坪 誠 今田寛典 (呉大学) 細田賀津美 (専攻科)	過疎地の情報計画に関する基礎的研究	第55回土木学会年次学術講演会概要集, 第4部, pp.148-149, (2000.9, 仙台)
小松孝二 (香川大学) 市坪 誠 竹村和夫 長町三生 (広島国際大学) 細田賀津美 (専攻科) 今田寛典 (呉大学) 西野達夫 (広島国際大学) 石原茂和 (広島国際大学)	中山間地の福祉情報計画に関する実験研究	日本人間工学会中国・四国支部第33回大会, pp.38-39, (2000.10, 三原)
市坪 誠 小松孝二 (香川大学) 竹村和夫 長町三生 (広島国際大学) 谷本泰雄 (専攻科) 今田寛典 (呉大学) 西野達夫 (広島国際大学) 石原茂和 (広島国際大学)	周囲景観を考慮した橋梁デザインに関する一考察	日本人間工学会中国・四国支部第33回大会, pp.40-41, (2000.10, 三原)
小松孝二 (香川大学) 市坪 誠 竹村和夫 長町三生 (広島国際大学) 迫井裕樹 (専攻科) 今田寛典 (呉大学) 西野達夫 (広島国際大学) 石原茂和 (広島国際大学)	感性工学手法による河川景観に関する実験研究	日本人間工学会中国・四国支部第33回大会, pp.42-43, (2000.10, 三原)
石原茂和 (広島国際大学) 石原恵子 (広島国際大学) 長町三生 (広島国際大学) 小松孝二 (香川大学) 市坪 誠 西野達夫 (広島国際大学)	協調型感性工学設計システムと協調プロセスの研究	日本人間工学会中国・四国支部第33回大会, pp.44-45, (2000.10, 三原)

著 者 名	論 文 題 目	発表誌名(巻号, 発行年月) 口頭発表のみの場合は発表会名(発表年月, 場所)
市坪 誠	美しい国へ	コンクリート工学 Vol.38 No.10, pp.62-64, 2000.10
Tatsuro Muro (Ehime Univ.) Takahisa Shigematsu	Automation and optimal design method of a wheeled vehicle operating over sloped weak sandy terrain	Journal of Automation in Construction Vol.9 pp.277~297 (2000年 5 月)
安田陽三 (愛媛県庁) 室 達朗 (愛媛大学) 重松尚久	剛盤と軟弱地盤におけるRWD-2WS車両の旋回特性	土木学会四国支部第 6 回技術研究発表会 (2000年 5 月, 高知)
重松尚久 西本健亮 (日本道路公団) 古満亮人 (JR西日本)	軟弱地盤における 2 軸 4 輪式車両の車輪接地圧について	第52回中国支部研究発表会発表概要集pp.645~646 (2000年 6 月, 広島)
Takahisa Shigematsu Tatsuro Muro (Ehime Univ.) Tadaomi Eguchi (Akashi NCT)	Turning Characteristics of Two-Axle Four-Wheel Vehicle Running on Sandy Soft Terrain.	SEOUL 2000 FISITA World Automotive Congress, F2000IS009 (2000年 6 月)
西村光正 井原基博 (元・呉市役所) 芳賀保夫 (福山大・工)	支持杭の負の摩擦力による建物の変形	中央建鐵kk技術研究所・研究報告 第 3 号, 2000.1 pp. 17~25
藤本知美 (呉高専・専攻科) 稲富優子 (呉高専・専攻科) 藤井英昭 (呉高専・専攻科) 西村光正 竹内謹治 (T&P設計事務所)	井桁型地盤改良べた基礎工法について 2) 井桁型モデルの模型実験に関する一考察	日本建築学会中国支部研究報告集, 第23巻, 平成12年 3 月 pp. 289~292
芳賀保夫 (福山大・工) 西村光正 中島 徹 (kkエルフ社長)	建物地盤改良工法の実態調査 2000. 10	中国地方基礎地盤研究会編
坂田憲彦 (呉高専・専攻科) 福原安洋	学生寮の耐震診断と補強	日本建築学会中国支部研究報告集 (第23巻 平成12年 3 月)
福原安洋 桐木淳子 (呉高専・専攻科)	加工砂製造時に生じる泥分の焼成性状について	日本建築学会中国支部研究報告集 (第23巻 平成12年 3 月)
中村雄治 (広大) 玉井宏章 (広大) 藤谷義信 (広大) 松尾 彰 (以上広大) 南 宏一 (福山大) 中山昭夫 (福山大) 横井友幸 (福山大) 唐立慎二 (広島県) 川端康洋 (米子高専) 高松隆夫 (広工大) 野添久視 (広工大) 原田洋臣 (福山工高) 森村 毅 (近大工) 福原安洋	実験でわかる構造力学の基礎	技報堂出版 (2000年 3 月 1 日)
福原安洋 中山昭夫 (福山大) 高松隆夫 (広工大) 森村 毅 (近大工)	鋼構造	森北出版 (2000年 5 月30日)

著 者 名	論 文 題 目	発表誌名(巻号, 発行年月) 口頭発表のみの場合は発表会名(発表年月, 場所)
松尾 彰 (広大) 南 宏一 (福山大) 横井友幸 (福山大) 高松隆夫 (広工大) 野添久視 (広工大) 原田洋臣 (福山工高) 森村 毅 (近大工) 福原安洋	建築構造力学教育の現状と将来的課題に関する調査研究	日本建築学会技術報告集 (第11号, 2000年12月)
Jitsuro Mase	Moderator: 3D Sketch CAD with Quick Positioned Working Plane and Texture Modelling	eCAADe2000 (Education in Computer Aided Architectural Design in Europe) (2000年6月, ドイツ, ワイマール)
山口隆司 岡本由美子 (建設工学専攻) 山崎慎一 (高知高専) 原田秀樹 (長岡技科大)	高温メタン生成細菌の活性に及ぼす塩濃度の影響評価	土木学会第55回年次学術講演会講演概要集Ⅶ部門, p38 (2000年9月, 仙台)
YAMAGUCHI T. NISHIKAWA S. (建設工学専攻) YAMAZAKI S. (高知高専) UEMURA S. (木更津高専) OHASHI A., HARADA H. (長岡技科大)	Microbial Ecological Significance of Sulfide Precipitation within Anaerobic Granular Sludge Revealed by Micro-electrodes Study	Paris 2000: 1st World Congress of the International Water Association, Poster program, L-226 (2000年7月, パリ)
山口隆司 浅沼淑子 (長崎大) 山崎慎一 (高知高専) 原田秀樹 (長岡技科大)	分子生物学的手法を用いた嫌気性微生物生態の評価	第52回土木学会中国支部技術研究会講演概要集, p695-696 (2000年6月, 広島)
山口隆司 木村美穂 (第一技研) 山崎慎一 (高知高専) 原田秀樹 (長岡技科大)	都市下水を処理するUASB反応器内の保持微生物評価	第52回土木学会中国支部技術研究会講演概要集, p697-698 (2000年6月, 広島)
山口隆司 木村紋子 (広島大) 山崎慎一 (高知高専) 原田秀樹 (長岡技科大)	都市下水を対象とした低コスト排水処理システムの開発	第52回土木学会中国支部技術研究会講演概要集, p699-700 (2000年6月, 広島)
山口隆司 庄司 誠 (ウエスコ) 山崎慎一 (高知高専) 原田秀樹 (長岡技科大)	UASB反応器後段ポスト・トリートメント槽における栄養塩の動態調査	第52回土木学会中国支部技術研究会講演概要集, p701-702 (2000年6月, 広島)
山口隆司 中平美枝子 (クリタス) 山崎慎一 (高知高専) 原田秀樹 (長岡技科大)	中温UASB反応器を利用した焼酎製造工程廃液の処理	第52回土木学会中国支部技術研究会講演概要集, p703-704 (2000年6月, 広島)
山口隆司 藤井利信 (第一技研) 山崎慎一 (高知高専) 原田秀樹 (長岡技科大)	高温嫌気性廃水処理槽内の保持微生物代謝活性に対する阻害物の影響度評価	第52回土木学会中国支部技術研究会講演概要集, p707-708 (2000年6月, 広島)
山口隆司 岡本由美子 (建設工学専攻) 山崎慎一 (高知高専) 原田秀樹 (長岡技科大)	下水処理場から排出される汚泥の生分解性調査	第52回土木学会中国支部技術研究会講演概要集, p735-736 (2000年6月, 広島)
山口隆司 中平美枝子 (環境都市工学科) 山崎慎一 (高知高専) 原田秀樹 (長岡技科大) 阿部貴和子 (日本製鋼所)	中温UASB反応器を用いた焼酎廃液処理	第34回日本水環境学会年会講演集, p526 (2000年3月, 京都)

著 者 名	論 文 題 目	発表誌名(巻号, 発行年月) 口頭発表のみの場合は発表会名(発表年月, 場所)
山崎慎一 (高知高専) 桐島佳宏 (高知高専・建設システム) 山口隆司 原田秀樹 (長岡技科大)	UASB-接触酸化処理システムによる低濃度有機物、窒素の同時除去	第34日本水環境学会年会講演集, p531 (2000年3月, 京都)
山崎慎一 (高知高専) 藤田 巧 (山城町) 山口隆司 原田秀樹 (長岡技科大)	焼酎製造廃水の生物学的処理方法の検討	平成12年度土木学会四国支部技術研究発表会, VII-13 (2000年5月, 高知)
山崎慎一 (高知高専) 藤近ひとみ (日本環境リサーチ) 山口隆司 原田秀樹 (長岡技科大)	UASB反応槽を用いた下水の高度処理特性	平成12年度土木学会四国支部技術研究発表会, VII-14 (2000年5月, 高知)
山崎慎一 (高知高専) 小松英介 (須工ときわ) 山口隆司 原田秀樹 (長岡技科大)	河床礫付着珪藻を用いた四万十川の水質診断	平成12年度土木学会四国支部技術研究発表会, VII-28 (2000年5月, 高知)
山崎慎一 (高知高専) 加藤 武 (高知高専専攻科) 藤原 拓 (高知大学) 山口隆司	四万十川流域住民の環境財価値に関する意識調査	平成12年度土木学会四国支部技術研究発表会, VII-29 (2000年5月, 高知)
石井 仁 堀越哲美 (名工大) 渡邊慎一 (名工大) 鈴木健次 (豊田高専) 楊 昌智 (湖南大学)	自然対流時における人体および部位の対流熱伝達率の推定	日本建築学会計画系論文集 (第530号, 2000年4月)
Jin Ishii Tetsumi Horikoshi (名工大)	The combined effects of operative temperature, illuminance and light source on the human physiological and psychological responses	ARCHIVES OF COMPLEX ENVIRONMENTAL STUDIES (Vol. 12, No. 1-2, Aug. 2000)
Jin Ishii Tetsumi Horikoshi (名工大)	Convective heat transfer coefficients for the human body and its segments	The Third International Conference on Cold Climate Ventilating and Air-Conditioning (2000年11月, 札幌)
渡邊慎一 (大同工大) 堀越哲美 (名工大) 石井 仁 富田明美 (椋山女学園大学)	サーマルマネキンを用いた高風速域における着衣熱抵抗および人体対流熱伝達率の推定	日本生気象学会雑誌 (37巻3号, 2000年11月)
佐古井智紀 (北海道大学) 持田 徹 (北海道大学) 堀越哲美 (名工大) 石井 仁	鏡曲面を用いた形態係数の測定	第24回人間-生活環境系シンポジウム報告集 (2000年11月, 東京)
渡邊慎一 (大同工大) 堀越哲美 (名工大) 米田喜正 (名工大) 兼子朋也 (名工大) 宇野勇治 (名工大) 石井 仁 富田明美 (椋山女学園大学)	高風速域における気流方向が着衣熱抵抗および人体対流熱伝達率に及ぼす影響	第24回人間-生活環境系シンポジウム報告集 (2000年11月, 東京)
熱田巳記夫 (豊橋技術科学大学) 角 徹三 (豊橋技術科学大学) 桶谷秀人 (和歌山県庁) 松野一成	連続繊維シートで補強されたRC部材の付着割裂強度 (その3. 逆対称載荷はり型試験体の場合)	平成11年度土木学会中部支部研究講演梗概集 2000.03

著 者 名	論 文 題 目	発表誌名(巻号, 発行年月) 口頭発表のみの場合は発表会名(発表年月, 場所)
松野一成 福原安洋 (呉高専) 片谷陽子 (呉高専専攻科) 角 徹三 (豊橋技術科学大学) 河野 進 (京都大学)	連続繊維シートで補強された主筋の付着割裂強度	日本建築学会中国支部研究報告集第23巻 2000.03
松野一成 河野 進 (京都大学) 小幡有香 (中筋組) 角 徹三 (豊橋技術科学大学)	連続繊維シートを用いたRC部材の付着割裂強度算定式の提案	コンクリート工学年次論文報告集第22号第3巻 2000.06
山崎敬子 (豊橋技術科学大学) 箕田由香 (中筋組) 松野一成 河野 進 (京都大学) 角 徹三 (豊橋技術科学大学)	連続繊維シートで補強されたRC部材の付着割裂強度 その4. シートが負担する付着強度式の提案	日本建築学会学術講演梗概集(東北) C-2, 構造IV 2000.09
松野一成 角 徹三 (豊橋技術科学大学) 山崎敬子 (豊橋技術科学大学) 福原安洋 (呉高専) 片谷陽子 (呉高専専攻科)	連続繊維シートで補強されたRC部材の付着割裂強度 その5. 付着割裂強度に支配されるせん断耐力	日本建築学会学術講演梗概集(東北) C-2, 構造IV 2000.09
砂本文彦	室戸市吉良川町の水切り瓦のある蔵	JUDI NEWS (52号, 都市環境デザイン会議, 平成12年1月)
砂本文彦	日本ホテル建築物語其之五 ホテルとダンスホール	JIA四国NEWS (112号, 日本建築家協会四国支部, 平成12年2月)
池上重康 (北大) 鈴木博之 (東大) 加藤仁美 (東海大) 西澤泰彦 (名大) 石田潤一郎 (滋県大) 矢ヶ崎善太郎 (京工大) 橋爪紳也 (大市大) 吉田高子 (近大) 杉本俊多 (広大) 砂本文彦 土居義岳 (九芸工大) 郭 中端 (台湾・成功大) 他	『近代日本の郊外住宅地』	(鹿島出版会, 平成12年3月)
砂本文彦	阿蘇観光ホテルと国際リゾート地開発	日本建築学会計画系論文集 (No529, 平成12年3月)
砂本文彦	日本ホテル建築物語其之六 ホテルの不燃化	JIA四国NEWS (114号, 日本建築家協会四国支部, 平成12年4月)
坂井 孝 (高工大) 砂本文彦	人口移動に及ぼす社会基盤整備の役割	平成12年度土木学会四国支部 技術研究発表会 (平成12年6月, 高知)
砂本文彦	日本ホテル建築物語其之七 ホテル建築家高橋貞太郎	JIA四国NEWS (116号, 日本建築家協会四国支部, 平成12年6月)
砂本文彦	日本ホテル建築物語其之八 日本最初の国策リゾート地・蒲郡	JIA四国NEWS (118号, 日本建築家協会四国支部, 平成12年8月)
砂本文彦	赤倉観光ホテルと国際リゾート地開発	日本建築学会計画系論文集 (No535, 平成12年9月)
砂本文彦	日本ホテル建築物語其之九 遊郭とリゾートホテル	JIA四国NEWS (120号, 日本建築家協会四国支部, 平成12年10月)
砂本文彦	近代日本における国際観光地形成の技術史的研究	平成11年度報 (福武学術文化振興財団, 平成12年11月)
砂本文彦	日本ホテル建築物語其之拾 川奈ホテル	JIA四国NEWS (122号, 日本建築家協会四国支部, 平成12年12月)

編 集 委 員

今	井	勲
川	尻	武 信
野	原	稔
若	宮	正 明
丸	上	晴 朗
間	瀬	実 郎

呉 工 業 高 等 専 門 学 校

研 究 報 告

第63号 (2001)

平成13年 8 月 印刷

平成13年 8 月 発行

編集者
発行者

呉 工 業 高 等 専 門 学 校

〒737-8506 呉市阿賀南 2 丁目2-11

電話 (0823) 73-8406

印刷所

中本総合印刷株式会社

〒732-0802 広島市南区大州 5 丁目 1 番 1 号

電話 (082) 281-4221

MEMOIRS OF KURE NATIONAL COLLEGE OF TECHNOLOGY

No. 63
August, 13th Year of Heisei (2001)

CONTENTS

1. On the Solution of Simultaneous Differential Equations	Shozo OKANAKA	1
2. Quantum Dynamics in Two-Dimensional Space	Yoshifumi UEDA and Masahiro TAKEGUCHI	7
3. Numerical Calculation of an Oxygen Discharge Plasma	Tsutomu YAMAZAKI	13
4. A Study on Modern Western-style Architecture in Kobe-city and a Proposed Preservation Method	Jiro OKAMOTO and Yuki KAWANO	21
5. A Study on Modern Western-style Architecture in Kitakyushu-city and a Proposed Preservation Method	Jiro OKAMOTO and Atushi NAGAMI	35
6. A Study on Consistency of Maintenance Concept and Evaluation of River	Makoto ICHITSUBO, Takashi YAMAGUCHI, Hirofumi IMADA and Yasuo TANIMOTO	45
7. Effect of Visual Evaluation on Surface Deterioration of The Concrete Structures	Makoto ICHITSUBO, Kazuo TAKEMURA, Takashi YAMAGUCHI and Yu-uki SAKOI	51
8. On the Noise Reduction Effects of Sound Absorbing Surface close to the Directional Sound Source	Takeshi FUJII and Shinichiro OGATA	57
9. On the Basic Study for Universal Design of Building Parts – On the Section Form of push-pull handle –	Shinichiro OGATA and Takeshi FUJII	61
10. On the Basic Study for Universal Design of Building Parts – On the plane movement space in the entrance door passage –	Shinichiro OGATA and Takeshi FUJII	67
11. Spectral Characteristic of Recorded Accelerogram from Western Tottori Earthquake	Katuaki MONZEN and Takashi MIURA	71
12. Field Survey on the Thermal Environment in a Classroom of College	Jin ISHII, Manami MATSUMOTO, Daiki TAKEUCHI and Suzuka MATSUO	77
List of Papers Published or Read Outside Kure National College of Technology in 2000		85