

呉工業高等専門学校

研 究 報 告

第32巻 第1号 (通巻第58号)

平成8年8月 (1996)

目 次

1. The End of the Tether にみられる絵画的要素について	田 邊 達 雄	1
2. NiAs 型 CrSe の電子構造	小 山 通 榮 八 方 直 久 佐 藤 仁 古 田 明 仁 仲 武 昌 史 谷 口 雅 樹 植 田 義 文	29
3. マイクロコンピュータによる自立型移動ロボットの制御	野 原 稔	33
4. PCコントローラとマイクロコンピュータの組合せによる 機器の制御	野 原 稔	49
5. 銅放電プラズマの発光スペクトル	山 崎 勉	63
6. コンクリート表面における汚れ評価に及ぼす付着物質の影響	市 坪 誠 竹 村 和 夫 山 口 隆 司 小 松 孝 二 板 垣 竜太郎	75
7. パルミチン酸とプロピオン酸の嫌氣的分解に及ぼす 硫化物の影響	山 口 隆 司 市 坪 誠 原 田 秀 樹	81
平成7年度本校教官による他誌発表論文一覧表		91

The End of the Tether にみられる絵画的要素について

(一般科目) 田 邊 達 雄

The End of the Tether from the View Point of a Visual Aspect

(Department of General Subject) Tatsuo TANABE

There are a lot of writers who have the ability of painting as well as writing. One of them is Joseph Conrad (1857-1924), as we have seen several skillful sketches of his. In *The End of the Tether* (1902), we will recognize the wonderful descriptions of the eastern archipelago and the portraits of the characters, not to speak of the deliberation of the plot of this work. But in this paper the author studies his skill of painting of the landscape and the people on board the *Sofala*, and also studies Conrad's psychological description of some characters from visual aspects.

Key Words: Joseph Conrad *The End of the Tether* visual effect
psychological description

ジョウゼフ・コンラッド *The End of the Tether* 視覚効果 心理描写

§1 はじめに

作家でありながら、書画に造詣の深い人々は、近世の与謝蕪村(1716-1783)を始め、明治の夏目漱石(1867-1916)などは言うに及ばず、わが国でも古来より多く知られている。Joseph Conrad (1857-1924) もその意味では絵画に関心を持つ作家であったようである。ここで取り上げる彼の作品 *The End of the Tether* (1902) は特に主人公の船長が次第に視力を失っていくという作品の流れの中でその心理描写と周囲の思惑が扱われている。しかし、本論ではこうした全体的なプロットを扱うのは二次的なものとして、まず作者のお得意とする絵画的な見地から作品を見ていきたい。いみじくも、彼の終生の友人の John Galsworthy (1867-1933) はその書簡の中で、「たぶん、コンラッド(絵を描く作家)は当代の純粋なアーティストだと言える中では最高の人物である」“Conrad (a painter's writer) is perhaps the best specimen amongst moderns.” (*The Life and Letters of John Galsworthy* p.194) と述べていることから Conrad の画才の程がうかがわれる。

本論では、この作品にみられる絵画的な描写として、風景と人物描写、さらに主人公の Captain Dardevil Harry Whalley と彼をとりまく人々の心理描写へも視覚的な観点から論じてみる。ただ、「絵画的」という表現はきわめて多様な意味合いを含むことは当然であるが、本論で述べる「絵画的」というのは、単純にその色彩的な意味合い、及び、情景描写の意味であることをあらかじめ断ってお

かなければならない。

§2 風景描写

作者は冒頭ですでに視覚に関する言葉を用いて Sofala 号の様子を描いている。船橋に座っている船長はそのような海のまぶしさには目を向けていない。ゆったりと籐の椅子に腰をおろし、ボースン (serang) の報告を聞くだけである。

For a long time after the course of the steamer Sofala had been altered for the land, the low swampy coast had retained its appearance of a mere smudge of darkness beyond a belt of glitter. The sunrays fell violently upon the calm sea—seemed to shatter themselves upon an adamant surface into sparkling dust, into a dazzling vapour of light that blinded the eye and wearied the brain with its unsteady brightness. (p.165)

汽船 Sofala 号が陸の方へ進路を向けてから長い間、低湿地の海岸がキラキラ輝く光の帯の黒っぽい輪郭の様相だけが続いていた。穏やかな海面に陽光が激しく照りつける。まるで堅い海面に砕けてキラキラと輝くホコリとなり、そして、一様な輝きで目を眩ませ、頭をボーとさせる光の蒸気になったようである。

Sofala 号が目的地に向かって進む南海の平穏な風景を作者はその現役時代の経験を基にして見事に描いている箇所は本作品だけでなく、多くのいわゆる Malayan Archipelago を舞台にした作品に見られる。一等航海士の Sterne が Captain Whalley はどこか不審なところがあると気づいていたころの Sofala 号の航海中の情景にも絵画的な要素が多分にみられる。

…They had just left a place of call on the mainland called Pangu; they were steaming straight out of a bay. To the east a massive headland closed the view, with the tilted edges of the rocky strata showing through its ragged clothing of rank bushes and thorny creepers. The wind had begun to sing in the ringing; the sea along the coast, green and as if swollen a little above the line of horizon, seemed to pour itself over, time after time, with a slow and thundering fall, in the shadow of the leeward cape; and across the wide opening the nearest of a group of small islands stood enveloped in the hazy yellow light of a breezy sunrise. (p.241)

Pangu という本島の寄港地をちょうど離れたところである。まっすぐに入江から外洋に向かっていった。東の方には岬が塊となって視界に迫って、岩だらけの崖の傾いた端が低木やイバラやツタのギザギザの表面を見せていた。風がリギンにあたって音をたて始め、海岸沿いの波がまるで水平線上わずか上まで膨れているように緑になってやがてゆっくりした雷鳴とともにこぼれて風下の岬の陰に入っていくようであった。そして、広い入江の向こうでは一番近い島々でもさわやかな陽光のかすんで黄色くなった光に包まれていた。

いわゆる Malayan Archipelago の情景を描いている。島の様子や海面の霧がかすんで、いかにも南海ののんびりした情景が浮かんでくる。そして、走っていく Sofala 号のデッキから眺める島々と、折からのスコールの到来を伴う周囲の情景が現れる。

The usual track of the Sofala both going and returning on every trip led her for a few miles along this reef-infested region. She followed a broad lane of water, dropping astern, one after another, these crumbs of the earth's crust resembling a squadron of dismasted hulks; run in disorder upon a foul ground of rocks and shoals. Some of these fragments of land appeared, in deed, no bigger than a stranded ship: others, quite flat, lay awash like anchored rafts, like ponderous, black rafts of stone, several, heavily timbered and round at the base, emerged in squat domes of deep green foliage that shuddered darkly all over to the flying touch of cloud shadows driven by the sudden gusts of the squally season. The thunderstorms of the coast broke frequently over that cluster; it turned then shadowy in its whole extent; it turned more dark, and as if more still in the play of fire; as if more impenetrably silent in the peals of thunder; its blurred shapes vanished——dissolving utterly at times in the thick rain——to reappear clear-cut and black in the stormy light against the gray sheet of the cloud——scattered on the slaty round table of the sea. (p.242)

Sofala 号のいつもの決まった往復の航路はこの珊瑚礁の群がった地域を数マイル通って行く。船は広い水路を走って、衝突の危険をはらんだ岩や浅瀬の上を無茶苦茶に走る。マストの剥ぎとられた船団にも似て大地の外皮のこれらのごみごみしたかけらを次から次へと後にしていく。確かにこれらのかげらの中には座礁した船ほどのものにも見えるものがある。また全く平らでちょうど停泊している石のどっしりした重いイカダにも似て波に洗われるものもあった。中には、重々しく当て木をあてがわれて、底が丸くなってスコールの時の突風に流されて飛ぶ雲の陰があたって全体が黒く震える緑の木の葉のこんもりしたドームとなって現れる。海岸の雷鳴がしばしばあの茂みを越えていった。すると全体を暗くしてさらに暗くなり、まるで光りの飛び交う中でさらに静かになり雷鳴の轟きの中でもっと深い静寂になるようであった。そしてそのぼんやりした形がなくなり——時には猛烈な雨の中で全く消えてしまい——灰色の雲を背景にして稲光の中にくっきりと黒く再び現れ——海の粘板岩の台の上に散っていく。

このように作者コンラッドがお得意とする見事な情景描写が延々と続く。しかし、逆にこうした描写より、焦点がぼけてきて本論の姿がかすんでくるくらいも否めない。そのような中で作者が海上の平穏な状況を “still”, “calm” などの語を多用することで表現しているのは印象的である。

“she would find everything very *still* there...” (p.243)

“All would be *still*, *dumb*, almost invisible...” (p.243)

“faint rythm of the propeller beating the *calm* water a mile and a half way.” (p.244)

“No glow of their house old fires ever kindled for a seaman a red spark upon the blind night of the group; and the *calm* of the coast, the flaming long *calms* of the equator, the unbreathing, concentrated *calms* like the inspection of a passionate nature.” (p.244)

静まり返った様子を表す “calm”, “still”, “unbreathing” などの語がわずか 2 ページの間にこのように多用されている。そのほかにも “taciturn fishermen” (p.245) など人に使われている語もある。それはいかにも Captain Whalley がほとんどセリフを残していないのと同じ時にこれら大自然の静寂を表現しようとする作者の意図と考えられる。

Captain Whalley のことをもっともよく理解してくれる人物の一人が Mr. Van Wyk である。彼は Batu Beru という港町に住んでいて、そこは定期的に Sofala 号が訪れる場所である。作者はこの土地の情景も彼の現役時代に何度か訪れた港町と重複して描いている。

The proper time for the Sofala to arrive at Batu Beru was an hour before sunset, and he looked picturesque, and somehow quite correct, too walking at the water's edge on the background of grass slope crowned with a low, long bungalow with an immensely steep roof of palm thatch, and clad to the eaves in flowering creepers. While the Sofala was being made fast he strolled in the shade of the few trees left near the landing-place, waiting till he could go on board. (p.281)

いつも Sofala 号が Batu Beru に到着する時間は日没の 1 時間前であった。そして、彼は絵のように見事で、ともかくも礼儀正しくまでは庇まで花の咲いたツタが生い茂った、とても傾斜の急な椰子葉で葺いた屋根の、低く長い小屋がひしめいている草むらの傾斜面を背景にした水際を歩いていた。Sofala が接岸作業をしている間に彼は波止場の近くにわずかに残っている木陰をブラブラして Sofala 号を訪れる時を待っていた。

いかにも鄙びた熱帯地方の小さな交易のための開拓地の波止場の情景が伺われる。コンラッドの作品の中に扱われている背景と現実について、コンラッドの研究者の一人の Norman Sherry は *Lord Jim* (1900), *The Shadow-Line* (1917) など一連のコンラッドのいわゆる『南海物』の舞台となる都市は Singapore である、としている。

...Conrad's descriptions of the port of Singapore in these instances show that, in spite of the deliberate in explicitness of location, he was writing with a specific setting in mind and recalling the details of this setting with remarkable fidelity. Where there are inaccuracies they can be accounted for by the fact that he was relying on memory, for no doubt this failed him in part; but in some instances the inaccuracies seem to be deliberate, resulting from a judicious selection of details to give a special effect.

His descriptions of the port are limited to one small portion of what was in those days a small city. That part of Singapore which Conrad knew was the oldest part, the area about the sea-front with which any sailor would become acquainted. It became significant to Conrad because his centrists as a sailor made it a part of Singapore which he must often have walked. (*Conrad's Eastern World* p.175)

...これらの例に見られるシンガポール港についてのコンラッドによる描写は、場所を明らかにしないという慎重な配慮は見られるが、内心ははっきりした設定と驚くほど忠実にこの場所の詳細を思い出して描いている。曖昧なところは彼は記憶に頼ろうとしているということで説明できよう。と言うのは明らかにこれで彼の記憶が不足していることになろうが、時にはこの曖昧さが特別な効果を出すために詳細を慎重に選択したための配慮であるとも思われる。

彼のこの港の描写は当時小さな都市だったその一角に限定されている。コンラッドの知っているシンガポール港は最も古い地域であり、船乗りならだれでもおなじみの海岸沿いの一部である。コンラッドにとってそのあたりが重要になったのは、船乗りとしての彼の関心でそのあたりが彼がよく歩いたと思われるシンガポールの一部になったためである。

コンラッドが長い間の船員生活をしていたことはすでに知られている。特に“The South-Eastern Sea”で活躍していたことから彼の作品の中には、当時のマレー、スマトラ、ボルネオなどを背景にしているものも多い。しかしながら、この作品で背景がシンガポールであることは明らかなのになぜか彼は実名を扱わない。N. Sherryは「コンラッドは幅広い背景となるものの印象を出しているのだ。」（“Conrad gives the impression of a wide eastern background” p.174）という。そのため、敢えて固有の地名を載せていないというのである。

On one side the new Courts of Justice had a low and unadorned portico of squat columns half concealed by a few old trees left in the approach. On the other the pavilion wings of the new colonial Treasury came out to the line of the street. But Captain Whalley, who had now no ship and no home, remembered in passing that on that very site when he first came out from England there had stood a fishing village, a few mat huts erected on piles between a muddy tidal creek and a miry pathway that went writhing into a tangled wilderness without any docks or waterworks. (p.181)

片側には新しい裁判所の低くて飾りつけのないずんぐりした玄関があり、その入り口を半ば古い木立が隠していた。また、反対側には、新しいイギリス植民地外務省の建物の翼（ウイング）が通りに沿って見えた。しかし、Captain Whalleyは今や、家庭も船もなくなって、彼が初めてイギリスからやってきたときには漁村があって、ドックや水路はなく、もがき苦しんだ挙げ句にもつれあって荒野と化したぬかるみの通路と運河の間の杭の上に数軒の藁葺き小屋があった。

これはおそらく彼が滞在していたシンガポールの町の今昔を懐かしく回想しながら描いているのであろう。また、こうした官庁街の人気のないたたずまいと対照的に色とりどりの衣装の入り乱れる東南アジアの典型的な雑踏も作者は描いている。

The walls of the houses were blue: the shops of the Chinamen yawned like cavernous lairs; heaps of nondescript merchandise overflowed the gloom of the long range of arcades, and the fiery serenity of sunset took the middle of the street from end to end with a glow like the reflection of a fire. It fell on the bright colors and the dark faces of the bare-footed crowd, on the pallid yellow backs of the half-naked jostling coolies, on the accouterments of a tall Sikh trooper with a parted beard and above the heads in a red haze of dust, the tightly packed car of the cable tramway navigated cautiously up the human stream, with the incessant blare of its horn, in the manner of a steamer grouping in a fog. (p.182)

立ち並ぶ家の壁は青く、中国人たちの店はまるで奥深い獣のねぐらのように口を開けていた。名前もわからないような商品の山が、長く連なるアーケイドの暗がりに溢れていた。そして真っ赤に燃えるようなどかな夕日が街路の真ん中を隅から隅までまるで火を反射しているように燃え立つような色合いにしていた。その輝きは裸足の群衆たちの鮮やかな色彩の衣装や暗い顔、押し合いへしあいしている半裸のクーリーたちの血色の悪い黄色の背中、警察署の中庭の入口の前で歩哨の勤務に当たっている厳めしいハの字の髭をたくわえた長身のシーク教徒の騎兵の姿を照らしていた。スシ詰め電車は赤っぽいホコリのなかにいる人々の頭上にとても大きくぼんやりと浮かんで、用心深く人の流れをたえず警笛を鳴らして、まさしく霧の中を恐々と進む

汽船のようであった。

ここでは作者が意識的に「色彩」を表に出していると考えられる。こうして当時のごった返す町中の情景を描いている。周囲の壮大到立ち並ぶ建物の情景と全く孤独に浸っている船長、そして昔日のこの境界の数軒のワラ葺き小屋のたたずむ小さな集落と今日の目覚ましい変貌の対比に絵画的効果そのものがみられる。

エリオット船長に別れて Captain Whalley は一人思案しつつ、手にした杖で地面に穴を掘っていたが、そこから立ち去る頃には「夜は木陰で影の軍隊の体制を整えていた。まるで人類の手の行き届いていないオープン・スペースに向かって進軍の号令のかかるのだけを待機しているかのように通りの東端に密集していた。運河の暗い石壁も、岸の間にも低く集まりつつあった。」(“...When after drilling a deep hole with his stick, he moved from that spot the night had massed its army of shadows under the trees. They lifted the eastern ends of the avenue as if only waiting the signal for a general advance upon the open spaces of the world; they were gathering low between the deep stone-faced banks of the canal.” p.211) まさに Charles Dickens (1812-1870) が *Sketches by Boz* (1833-6) の中で大都会ロンドンを擬人化している場面を連想させるように、擬人化した不吉な象徴的な影がヒシヒシと迫ってくる。それまで明るかったさまざまの屋の部分、つまりは人間に例えると、人間のそれまでの陽の当たる幸せな部分に迫る不吉なものを思わせる。これを Whalley にあてはめると、密かに忍び寄る視力の衰え、そして、失明へと向かう運命を暗示するのである。また一方では、まさに彼の心の中の幸せな部分が少しずつ消されていくことを表している。それは具体的には最愛の細君との死別がまず思い浮かんでくる。そして、最愛の娘が結婚してはるか本国から離れたオーストラリアに嫁いでいくが、その亭主がうだつが上がらない男で、とうとう娘が選りによって下宿屋を始めるということ。また、Captain Whalley は持ち船の Fair Maid 号を手放してしまい、その売り上げ金は、娘の下宿屋開業の資金として用立てるため、手をつけずに蓄えること。一方ではホテル住まいも次第に切り詰めたが、自分の生活費が心細くなり、止むを得ず再び人に仕えて船員暮らしをしようとするのであるが、手頃な船が見つからないこともある。その折もあり、エリオットから10人のうちほぼ全員が断るほどの船の船長の職があることを聞き、結局はこれに乗り込むことになる。こうして見ると Whalley には実はこうした Shadow のみ降りかかってくるだけの人生に思われる。

主人公 Captain Whalley が現役を退いて悠々自適の気分の航海をするために「小型パーク型帆船」Fair Maid 号を手に入れていた。この船は彼の自慢の船であったが、老いぼれて船を思うように操縦することができなくなったら、係船して、自分は陸に上がって埋葬されることにする。遺言で船は自分の葬儀の時に外洋に引っぱり出して、そこで船底に穴をあけて沈めてしまうように、と指示を出すつもりだった。(“When he grew too old to be trusted with a ship, he would lay her up and go ashore to be buried, leaving directions in his will to have the barque towed out and scuttled decently in deep water on the days of funeral.” p.170) という思い入れようである。

この船の中を、作者はまさに絵画の中にさらに絵画を描くがごとく描写する。ちょうど、ベラスケス (Velazquez <1599-1660>) の「侍女たち」(1565) や、フェリメール (Vermeer <1632-1675>) の「アトリエ」(1665) などの作品を想起させる。

A big bookcase (he was a great reader) occupied one side of his stateroom; the portrait of his late wife, a flat bituminous oil-painting representing the profile and one long black ringlet of a young woman, faced his bedplace. (p.171)

大きな本棚（彼は大の読書家だった）が彼の寝室の一角にデンと据えられ、亡き妻君を描いた若い一人の夫人の横顔と長く黒い環をつけている油彩の肖像画が寝室に向いて掛かっていた。

部屋にはカナリヤを飼い、「娘夫婦とその子供の写真」（“the big carbon photographs of his daughter, her husband, and two fat-legged babies—his grand children—set in black frames” p.172）を置いている。朝食後にはそれらのホコリを拭ったり、妻君を描いてある絵を拭くのが習慣になっている。妻君の肖像画の下で、彼女の愛用していた聖書を読むのも彼の日課である。作者の絵画へのこだわりがこれらの描写からも窺われる。

作品の後半は Sofala 号の運命を中心にして、人間の欲が絡んでいくのであるが、これを象徴するように Sofala 号が夜の暗黒の中に浮かんでくる。

The bulwarks of the Sofala lying along side the bank made a low, black wall on the undulating contour of the shore. Two masts and a funnel uprose from behind it with a great rake, as it about to fall a solid, square elevation in the middle bore the ghostly shapes of white boats, the curves of davits, line of rails and stanchions, lighted port stared out on the night, perfectly round, like a small, fullmoon, whose yellow beam caught a patch of wet mud, the edge of trodden grass, two turns of heavy cable wound round the foot of a thick wooden post in the ground. (p.305)

岸壁に平行に停泊している Sofala 号の舷門（ブルワーク）が起伏した丘の輪郭に黒い低い壁となっていた。2本のマストと煙突がその後ろから大きく傾いて突き出ていた。まるで、今にも倒れそうだった。真ん中のがっしりした四角な構造物は、白い短艇や、鈎柱（ダビッド）、手摺や支柱（スタンション）などのぼんやりした形を見せていた。どれも雑然として黒々ともつれあっていた。しかし、船の真ん中あたりの下にわずかに一つ明かりのついた舷窓が暗黒の中に見えた。それはまん丸く、小さな満月に似て、その黄色い光線はぬかるみと、踏みつけられた草むらや、地面に打ちつけられた太い柱の根本に二重に巻きつけられたロープを照らしていた。

一步船内に入ると、「ボイラー室のガラクタや、鉄板の屋根、鉄板の床の物置部屋を、下の階の熱を遮るために覆っている鉄板の構造物」（“there was, in the iron deck-structure covering the stoke hold fiddle and the boiler-space, a storeroom with iron sides, iron roof, iron-plated floor, too, on account of the heat below.” p.321）で、「油の空き缶、綿の袋、炭、デッキ炉、ニワトリ小屋の残骸など」の（“All sorts of rubbish was shot there: it had a mound of scrap-iron in a corner: rows of empty oil-cans; sacks of cotton-waste, with a heap of charcoal, a deck-forge, fragments of an old henscoop, winch-covers all in rags, remnants of lamps, and a brown felt hat,...” pp.321-322）ゴミの捨て場となっている。Sofala 号の雑然としたこの情景は、ある意味ではこの船内の人々の様子を象徴しているようである。また、その船の持ち主の Mr. Massy の心をも表していると言えよう。既に金の盲者と化してなりふりを構わない彼の気持ちを最もよく表しているのである。

その Mr. Massy はこの残骸の中から、「錆びたナットや壊れたボルト、荷役用のチェーン」（“the rusty nuts, the broken bolts, the links of cargo chain” p.322）などをジャケットのポケットに詰めるだけ詰め込む。こうして詰め込むと、彼はスルリと自分の船室へ抜け出ていく。

...in his cabin he perceived that his hands were all red——red with rust. It disconcerted him, as though he had found them covered with blood; he looked himself over hastily. Why, his trousers, too! He had been rubbin his rusty palms on his legs. He tore off the waistband button in his haste, brushed his coat, washed his hands. Then the air of guilt left him, and he sat down to wait. (pp.322-323)

自分の船室で両手が赤くなっているのに気付いた——錆びで真っ赤だった。彼はうろたえた。まるで血がべったりとついているかのように見えたのである。自分の姿を眺めてみた。なんと、ズボンも真っ赤だった。膝の上で両手の錆びついた手のひらをこすっていた。あわててウェストバンドのボタンをむしり取った。上着にブラシをかけた。そして、両手を洗った。すると、罪悪感が彼からなくなってきて、彼は腰をおろして待つことにした。

鉄くずの錆で真っ赤に染まった両手——これは色彩的にも鮮烈であるが、まるで血で染まった手となるとさらになにか暗示的になる。ここで言う「血」とは何を暗示しているのか。*The Rover* (1922) の中でも同じように「血」の赤色が象徴的に描かれている。

He (=Peyrol) wrenched off the enormous padlock himself with a bar of iron and let the light of day into the little cabin which did in deed bear the traces of the massacre in the stains of blood on its woodwork, but contained nothing else except a wisp of long hair and a woman's earring, a cheap thing which Peyrol picked up and looked at for a long time. The associations of such finds were not foreign to his past. He could without very strong emotion figure to himself the little place choked with corpses. He sat down and looked about at the stains and splashes which had been untouched by sunlight for years. The cheap little earring lay before him on the rough-hewn table between the lockers, and he shook his head at it weightily. (*The Rover* p.87)

彼は鉄棒で大きな南京錠をねじ取り、小さな船室に陽の光を入れた。確かに木造部にこびりついている血糊の背後には大虐殺の痕跡があった。しかし、そのほかは長い毛髪がひとすじとそれに女性用の耳飾りがあるだけだった。ペイロールはそれを拾って長い間眺めていた。これらは彼の過去とまんざらつながりがなかった。彼はかなり冷静に、死体で息の詰まりそうな狭い場所を思い出すことができた。彼は腰をおろして長い間、陽の目に会ったことのない血のシミや血しぶきを眺めた。安物の小さい耳飾りをロッカーの間の荒削りのテーブルの上に置いてそれを見ながら、大きく首をふった。

この場合は、フランス革命から逃れるタータン（小型帆船）に載せている、大虐殺（massacre）の挙げ句の果ての犠牲者たちの流血である。この怨念のこもった「血」のこびりついているデッキを主人公のペイロールが洗い流す。ある意味では犠牲者への鎮魂の図とも考えられる。これに対して、Mr. Massy の鉄錆びで染まった真っ赤な両手は、いわば「罪の意識」である。自分自身が考え出した策謀を思い浮かべるとこの赤い鉄の錆びに一瞬おびえて良心の呵責にうろたえる。彼はその手を洗い落とすことによって「罪の意識」は消えてしまう。つまり、人間の良心が消えてなくなったとも言えよう。

「ぐったりして、ぼんやりと腰をおろし、真っ黒い瞳は動かないままで、彼の黄色な顔には、その落ちつきの中になにか消極的で、悲しそうな」(“very dull, too, sitting idle there, and his yellow face, with motionless black eyes, had something passive and sad in its quietness” p.323) 表

情になり、「彼の動きは何をしているのかわからないようであり、下唇は少し垂れて、目は船室の中をきょろきょろして、ものすごい緊張感のために彼の目から知的な表情」(“His movements seemed aimless, his lower lip had dropped a little, his eyes roamed about the cabin, and the tremendous tension of his will had robbed them of every vestige of intelligence” p.323)は消え失せてしまう。ここに描かれる Mr. Massy は既にこの世の人間ではない。そこにはあの *The Rover* の Bron Scevola のそれと相通じるイメージがある。

作者ははたして彼に良心の呵責を覚えさせることを意識しているのであろうか。もしこれが、こうした罪悪感を覚えるものになっていれば、それは小説ではなくて、別のモラルの範疇に入るのであろう。おそらく、作者の意図は全く真反対に無神経で単に Mr. Massy を、金欲、物欲など「世俗の業のなれの果て」の姿を表すために「血」を象徴する「鉄錆で染まった真っ赤な両手」で描こうとしているのである。

§3 人物描写

(1) Captain Whalley 像

Sofala 号の一等航海士 Sterne は船長とマレー人の「ボースン」(Serang) の関係を「常につきまとう小判鮫 (pilot-fish) だ！」(“A whale with an inseparable pilot-fish!” p.249) と評している。また、船長の Dardevil Harry Whalley という名前が示すように、読者に対して「鯨」のイメージを抱かせようとしている。船長をこのように動物に比喩して表現する一方、船長の外見上の姿を作中で様々な比喩を用いて、それがプロットの先々を暗示する効果も託している部分がある。

最愛の妻に先立たれ、愛娘は心許ない夫の不運のために生活収入の道が途絶えて、こともあろうに「下宿屋を開業して」暮らす羽目になっている。おまけに、船長はそれまで投資していた会社が倒産してしまうなど、船長にとっては心配事ばかり重なる。そして、残ったものといえば、小型のパーク型帆船 Fair Maid 号だけになってしまう。この Fair Maid 号は彼が余生を乗ってすごそうと楽しみにしていた船である。立ち寄る港では “my last command” の船だ、と紹介して回るほどの愛着ぶりである。それは「年をとってもう船に乗るのが無理になると、船を係留して自分は陸にあがって埋葬されることにする。一方、船は外洋に曳航してもらい、葬式の時にはかなり沖合いで船底に穴をあけて沈めてもらうというのである。」(原文既出 p.170) しかし、Captain Whalley は、思案のあぐの果てに彼の愛する Fair Maid 号も手放すことにする。(“He had made up his mind to sell the Fair Maid.” p.179) 娘婿の「ふがいなさ」をもどかしく思う。ある意味ではわが子の「つきのない」運命に同情さえ感じながら、一方でわが身を振り返ってみると、彼は「これまでに善人たち——船乗りやその他の人々が——宿命の兆しは分からないがまさしく不運の重みとともに落ちぶれていくのを見てきた」(“He had seen in his life too many good men——seamen and others——go under with the sheer weight of bad luck not to recognize the fatal signs.” p.175) がやはり同じような人生を歩んでいるというアイロニーが見える。

Captain Whalley が船を手放すことで一晩中デッキの上で思案に暮れる様子は単に情景描写には止まっていない。

All that night Captain Whalley walked the poop of his anchored ship, as though he had been about to close with the land in thick weather, and uncertain of his position after a run of many gray days without a sight of sun, moon, or stars. The black night twinkled with the guiding lights of seamen and the steady straight lines of lights on shore; and all around the Fair Maid the riding lights of ships cast trembling

trails upon the water of the roadstead. Captain Whalley saw not a gleam anywhere till dawn broke and he found out that his clothing was soaked through with the heavy dew. (p.178)

その夜、一晚中、彼はまるで重苦しい天候に包まれた陸地に近づこうとしているかのように、そして、太陽も月も星も見ることなく何日も灰色の毎日を航海してきて自分の船の位置さえおぼつかなくなっているかのように、今停泊している船のプープデッキを歩いていた。真っ暗な夜の闇は、船乗りの誘導灯や、陸地のじっとして動かない直線に連なった明かりを浮かべていた。そして、Fair Maid 号の回りでは他の船の停泊燈が錨地の海面にゆらゆら映っていた。Captain Whalley には、夜があけるまでどこにも明かりは見えなかった。そして、彼は自分の衣服が夜霧でべっとりと濡れていることに気付いた。

Captain Whalley がこれから視力を失っていくことを暗示する部分が “uncertain of his”, “gray days without a sight of sun, moon, or stars”, “saw not a gleam anywhere” などの語句にこめられている。しかし、われわれ読者は Captain Whalley のこのような不運に同情を抱くが、当の本人はわが娘 Ivy を「賢い母親の子供」(“own child of a clever mother” p.183) だから大丈夫だと自分を納得させて、船を手放すのも「避けられないステップ」(“such a step had been unavoidable.” p.183) と考える。結局 Fair Maid 号を売却してそのうちの200ドルを娘に送金する。この決断は一面では寂しさが伴うが、結果的には Captain Whalley にはよかったことになる。その上、彼は誰にも借金の無理を頼まなくとも500ポンドの現金に加えて、今、滞在費も手元にある。その滞在するホテルは、海の見える「鳥かご」(bird-cage) の部屋の中で、「目的もなく、まるで家のない孤独な旅人」(“a standard tourist, with no aim in view, like a forlorn traveller without a home.” p.184) のようにひっそりと部屋で物思いにふけてタバコをふかしている。この世の中で「我が持ち物」と言えるものをすっかり詰め込んだ二つの衣服箱 (sea-chest) を見つめる。

船を手放した後、彼は孤独感や、虚無感、つまり、彼の魂が無理矢理彼から奪い取られたような気持から、今すぐここを離れて娘のところへ行行って、「ここに最後の金がある。これをとっておけよ、おまえ。そして、おまえの年老いた父親がここにいるからそいつも連れていくんだぞ。」(“Here are the last pence,...take them, my dear. And here's your father; you must take him, too.” p.185) と言いたいやりきれない衝動と虚無感におそわれる。

Give up! Never! When once is thoroughly weary all sorts of nonsense come into one's head. A pretty gift it would have been for a poor woman——this seven hundred pounds with the incumbrance of a hale old fellow more than likely to last for years and years to come. Was he not as fit to die in harness as any of the youngsters in charge of these anchored ships out yonder? He was as solid now as ever he had been. But as to who would give him work to do, that was another matter. (p.185)

駄目だ! もう駄目だ! 人は弱り切っているときは、あらゆるつまらない思惑が浮かんでくるものだ。貧しい女性にとってはあの金ありがたい贈り物になっただろう——これからまだまだ何年も生き長らえる元気者の爺さんという厄介者を抱えたこの700ポンドが。あの向こうに停泊している船を預かっている若い衆の誰よりも仕事をしながら倒れるのには相応しくなかったのだろうか。彼がこれほどにしっかりしたことはなかったというのに。ところが、誰が彼に仕事を与えるか、は別の話だ。

彼は船を持つことをあきらめて、船員として働くための仕事を探すことになるが、なかなか見つからない。船主であったこと、船長だったことが足枷となってそれにふさわしい仕事に巡り会えない。これは実際の作者が味わった失業の経験と重複している。特に、その間の Captain Whalley の心の表現はまさに当時の作者コンラッドが味わった気持そのものと考えてよからう。この時の Captain Whalley を作者は「川のような人の流れの中を漂う一つのワラクズ（“a straw in the eddy of brook amongst the swarm of brown and yellow humanity filling a thoroughfare” p.182）という比喩的表現を用いている。一方、堂々とした建物が都市計画に沿って立ち並ぶ人気のない通りには不釣り合いな「巡礼者のように立派な白いあごひげをたくわえて、武器にもなりそうな太い棒を手にしてしっかりとした足どりで歩く唯の孤独な人物」（“only a lonely figure walking purposefully with a great white beard like a pilgrim, and with a thick stick that resembled a weapon.” p.181）となって、この群衆のひしめき合う雑踏の「川」を泳ぎわたって向こう側にたどり着く「ダイバー」（“Captain Whalley emerged like a diver on the other side, and in the desert shade between the walls of closed warehouses removed his hat to cool his brow.” p.182）と描いている。

「日差しは光沢のある海面に粉々に砕けて光の微細なホコリのようになり、まぶしくて目も眩むばかりの光の蒸気になる」（“to shatter themselves upon an adamant surface into sparkling dust, into a dazzling vapour of light that blinded the eye” p.165）。そして、一方で Captain Whalley は「そのようなものには目もくれず」（“Captain Whalley did not look at it” p.165）、マレー人のボースン（serang）の報告を聞くとその場で立ち上がり、じっと前方を向いたまま何も言わない。やがて、「船長はゆっくりとまた船橋の自分の肘掛け椅子に腰をおろし、足下を見つめるだけ」（“slowly Captain Whalley sat down again in the arm-chair on the bridge and fixed his eyes on the deck between his feet.” p.165）で、針路上に何も新しいものは見たいとも思わない」（“could not hope to see anything new upon this lane of the sea.” p.165）というように、作者は冒頭で既に視覚に関する言葉を用いて Captain Whalley が視力が衰えているという暗示を与えている。しかし、その後で船長の生い立ちと往時の船長の活躍ぶりを描く。

船長はまだ14歳にもならないうちに父親と死別している。そうでなければ、「海軍に入隊している」（“he would have entered the Navy if his father had not died before he was fourteen” p.182）というように、軍人の父を持っていた。彼の風貌は父親に似て「年老いて、名誉ある提督を思わせるような堂々とした風格を持つ人物」（“something of a grand air which would have suited an old and glorious admiral” p.182）に描かれている。

Sofala 号で彼は3年間を船長として働いている。Low Cape から Malatan まで50マイルの行程をこの老朽船は連れ潮に乗って6時間、逆潮で7時間の型にはめたような航海をする。作者は Sofala 号を擬人化して、このオンボロ船の方がはるかにこの航路のことはよく知っているし、知識も人間よりはるかに詳しいという。針路には信頼を置くことができるし、羅針盤が故障することはまず考えられない。まるで船齢は知識、知恵、冷静沈着を物語るかのように何一つ問題がない。

Captain Whalley も Sofala 号に劣らず、このあたりの地形はもちろん、このあたりに住む人々の様子まで何もかも知り尽くしている。作者はこのあたりの情景を描写した後、船長の生い立ちについて述べている。

...Daredevil Harry Whalley, of the Condor, a famous clipper in her day. No. Not a very enterprising life for a man who had served famous firms, who had sailed famous ships (more than one or two of them his own); who had made famous

passages, had been the pioneer of new routes and new trades; who had steered across the unsurveyed tracts of the South Seas, and had seen the sun rise on uncharted islands., Fifty years at sea, and forty out in the East ("a pretty thorough apprenticeship," he used to remark smilingly,) had made him honorably known to a generation of shipowners and merchants in all the ports from Bombay clear over to where the East merges into the West upon the coast of the two Americas. (p.167)

...Daredevil Harry Whalley という名前であり、かつて華やかなりし頃、有名なクリッパー型帆船 Condor 号の船長をしていた。有名な商社に勤めた人にしてはそう立派な生活はしていなかったが、名のある船を走らせていた人物であった。そのうちの数隻は彼が自ら指揮していたが。そして、有名な航路を開拓して新しい航路、交易所の先駆者でもあったし、南海の未調査の海域を走り、未知の島で日の出を見たこともある人物だった。50年の海上生活、その中で、東洋に40年間（見習い士官の当時は仕事を立派にやったよ、といつも笑って言っていたが、）Bombay から2つのアメリカの、東洋が西洋と合体するに至るまでのすべての港の船主や商人たちに何代にもわたって晴れがましくも知られるようになっていた。

そして、Captain Whalley の開拓した航路は Generala Directry Vol ii の40ページに "Malotour Whalley Passage" と記されていて、「この波乱に満ちた航路は Condor 号で Captain Whalley が 1890年に発見したもの」と説明があるというのである。しかし、皮肉なことに彼のこのような「過去の立派な業績が邪魔をして、あまりに雇い主の期間が長すぎた」、というこの当時の彼の姿の描写がある。

...broad-chested, without a stoop, as though his big shoulders had never felt the burden of the loads that must be carried between the cradle and the grave. No single betraying fold or line of care disfigured the reposeful modeling of his face. It was full and untanned; and the upper part emerged, massively quiet, not of the down ward flow of silvery hair, with the striking delicacy of its clear complexion and the powerful width of the forehead. The first cast of his glance fell on you can did and swift, like a boy's; but because of the ragged snowy thatch of the eyebrows the affability of his attention lacquered the character of a keen and searching scrutiny. With age he had put on flesh a little, had increased his girth like an old tree presenting no symptoms of decay; and even the opulent, lustrous ripple of white hairs upon his chest seemed an attribute of unquenchable vitality and vigour. (p.187)

広い胸板で、腰も曲げていない。まるで、彼の広い肩が生まれてから死ぬまで担っている重荷を感じたことがないかのように。彼の顔の肉づけを損なうおそれのあるシワや、ヒダはなかった。完璧で日に焼けていなかった。額の部分がどっしりと落ちついていて、銀髪の垂れ下がっているところから見えていた。そして、そのすがすがしい表情と力強い広い額に、はっとするような繊細さがあった。最初に彼はまるで子供のようなあどけない、すばやいなぎしを投げかけた。しかし、庇のようなギザギザの真っ白い眉毛のために彼の優しい心遣いの中には鋭い探るようにジロジロ見るところがあった。年をとるにしたがって、彼は少し太り目になってきて、腐敗の気配を全く見せない老木のような胴回りになってきて、胸にかかる豊かな光沢のある波打った白髪でさえも飽くなき活力と生氣の特質のように見えた。

(2) Mrs. Whalley 像

Captain Whalley が妻に死別した時の情景が p.169 に見られる。彼の家庭ほど「明るく愉快的な家庭は陸でも海でも」(“a brighter, cheerier home anywhere afloat or ashore than his home” p.172) 見られないほどの家庭を築く主婦であり、嗜みとして描く絵は「広いメインデッキ全体が色のあせることのないリース(花輪)をつけて、まるで年から年中お祭りのように白と金色の花輪で」(“with the big main cabin all white and gold, garland as if for a perpetual festival with an unfading wreath.” *ibid.*) 飾るという、機知に富んだ絵心を持ち合わせ、この夫婦が結婚後一年もたってはるばるロンドンからピアノを取り寄せる。ピアノにあわせて歌う彼女は、あの航海士の Swinburne 爺さんに「奥さんはまさしく美しい声で歌う歌手の中の歌手ですよ」(“Mrs. Whalley is a regular out-and-out nightingale, sir.” p.173) と言わしめる美声の持ち主でもある。航海が大好きで、根っからの船乗りであり、「真の女性」(“a real shipmate and a true woman” p.172) と Captain Whalley が回想するこの女性は作者が理想の一人として描く女性のうちの一人であろう。作者はその後で、船長が婦人を Petchili 湾に埋葬する場面を描いている。ここにも、色彩と人物のコントラストが見事に表現されている。

He had to close her eyes himself. She went away from under the ensign like a sailor's wife, a sailor herself at heart. He had read the service over her, out of his own prayer-book, without a break in his voice. When he raised his eyes he could see old Swinburne facing him with his cap pressed to his breast, and his rugged, weather-beaten, impassive face streaming with drops of water like a lump of chopped red granite in a shower. It was all very well for that old sea-dog to cry. He had to read on to the end; but after the splash he did not remember much of what happened for the next few days. An elderly sailor of the crew, deft at needlework, put together a mourning frock for the child out of one of her black skirts. (p.173)

船長は自ら彼女の目を閉じてやらなければならなかった。根っからの船乗りである婦人は、一方では船乗りの妻らしく国旗に包まれて逝った。彼は水葬の時は送る言葉を婦人の愛用の聖書から声を途切らせることもなく読んだ。目を上げると、Swinburne 爺さんが帽子を胸に押し当てて彼に向き合っていた。彼のゴツゴツした日焼けして感情を押し包んだ顔からまるで細かく切り刻んだ赤い石のような大粒の水がシャワーとなって流れ落ちていた。あの老水夫らしい泣き方だった。船長は最後まで葬儀を務めなければならなかったが、大きなしぶきをかぶった後は、それからの数日間はどうなったのかは覚えていなかった。針仕事の器用な年輩の水夫が婦人の黒いスカートで船長の娘用に喪服を繕ってやっていた。

引用文の中で、ユニオンジャックの国旗に包まれた婦人の遺体、日焼けした老水夫の「無表情な」中に、まるでシャワーのように流れる涙をたとえた「細かく切り刻んだ赤い石」、そして亡き婦人の形見である黒いスカートで繕う「喪服」の「黒」など、作者の映像的な効果を意図としている点が窺える。

(3) Captain Whalley の娘 Ivy 像

婦人の亡き後、Captain Whalley の友人の妻 Mrs. Gardner が親身になって Whalley 家の世話をしてくれるが、この彼女は Captain Whalley の娘を彼女の子どもたちと一緒に London につれてかえって教育を受けさせることになる。娘はその後、「不幸な選択」をして Captain Whalley の意に

添わない男性と結婚することになる。しかし、彼は「おそらく娘が誰か別の人を選んですがっていく」(“in the nature of things she would probably elect to cling to someone else.” p.174) と言うことを忘れて、一心に娘に愛情をそそぐ。この娘 Ivy の幼い頃の様子を作者は次のように描いている。

...As a child she had never been frightened of bad weather; she would beg to be taken up on deck in the bosom of his oilskin coat to watch the big themselves upon the condor. The swirl and crash of the waves seemed to fill he small soul with a breathless delight. (p.174)

...子供の頃、彼女は悪天候をこわがらなかった。父親の防水衣の胸元で Condor 号めがけて突進してくる大波を見たいからデッキにつれていってくれと頼んだものである。大波が渦巻き、砕ける様子が息をのむような喜びでこの幼い子供の心を一杯にするのであった。

Captain Whalley が「男まさりの女の子」(“A good boy spoiled” p.174) と少年でなくて半ば残な思いを込めてよく冗談で呼ぶこの Ivy という名前は、まさに字のごとく「彼の心にしっかりとからみついて」いるともいえよう。まして、目の色も性格も、そして、多くを語らなくとも父親の気持ちを理解するという点もすべて亡き妻にそっくりとなれば我が娘 Ivy への愛情は人一倍になるのも無理からぬところがある。しかし、彼が客観的には覚悟していなければならないことであり、彼がすっかり忘れていたことがやがて訪れる。つまり「誰かにすがっているのを見るのではなく、娘が選んだ支え柱が、よく見ると健康の面でも『どちらかといえば貧弱な棒切れ』のような」(“not to see that she clung now to somebody else, but that the prop she had selected seemed on closer examination ‘a rather poor stick’——even in the matter of health” p.174) 貧相な旦那を選んだことである。さらに、Captain Whalley が娘の亭主を嫌うのは「娘たちの結婚の時に彼が与えたお金の総額を扱うときの亭主のやり方というよりもむしろ、おそらくは亭主の慇懃な態度」(“his son-in-law’s studied civility perhaps more than his method of handling the sum of money he had given Ivy at her marriage” pp.175-176) である。つまり、我々の身近に見られる、嫁いでいく娘を持つ父親の気持ちそのものが Captain Whalley の心の中にも現れている。

そして、彼は「いいかい、おまえ。僕の財産はすべておまえと子供たちのものだよ。どんなことでもいいから、遠慮なく僕に手紙を書いてよこすのだよ。(“You know, my dear, all I have is for you and the chicks. Mind you write to me openly” p.174) といって娘と別れる。その娘からの手紙で、あの「貧弱な棒切れ」、「いつまでたっても不利な状況に追いやられ」(“perpetually being jammed on a lee shore” p.175), 「ついていない男」(“the unlucky man” p.175), の娘はついに「あの人はもう二度と歩けないのです」(“He will never walk again” p.176) と父親に告げる。不運なことにも娘は夫の不運のために生活収入の道が途絶えて、こともあろうに「下宿屋を開業」する。そのために「200ポンドが必要」だと父親に打ち明けてくる。これにはさすがの Captain Whalley も「生まれてこの方初めてちょっとではあるがよろよろと力が抜け」(“For the first time in his life he was a bit staggered.” p.176), 「生まれてこの方2度目の仰天」(“For the second time in his life he was appalled” p.178) をする。それは、Captain Whalley が “boarding house” に対して、ある偏見を抱いていたからである、と作者は言う。

...A boarding-house is no sort of home though it may get you a living. His feelings were horribly rasped by the idea of the boarding-house. In his rank of life he had that

truly aristocratic temperament characterized by a scorn of vulgar gentility and by prejudiced views as to the derogatory nature of certain occupations. (p.181)

下宿屋というのは確かに暮らしはできるけれども、わが家なんていうようなものじゃない。下宿屋と思うだけで彼の気持ちは恐ろしくイライラした。彼の生活のランクの面では彼の性格は低級な上品気取りを軽蔑したり、特定の職業の軽蔑的な本質についての偏った考え方からあのような心底からの貴族的なものになっていた。

彼は歩くときはステッキを携えているが、その上、彼には古い愛用のパナマ帽子がある。しかし、作者がこの姿を「古めかしいパナマ帽子の突き出た縁の下を堂々と歩いた。その帽子には低い山（クラウン）と、中心を通る畳目と細い黒いリボンがついていた。彼はわずかに変色したこの帽子をかぶっているので波止場の人混みの中でも、町中の雑踏の中でも遠くからすぐにそれと分かる」（“He strode on squarely under the projecting brim of an ancient Panama hat. It had a low crown, a crease through its whole diameter, a narrow black ribbon. Imperishable and a little discoloured, this headgear made it easy to pick him out from afar on thronged wharves and in the busy streets.” pp.187-188）ほどに目立っていた。そして、彼の衣服は決して新しいものではない。「リンネルのシャツは一点のシミもないほどにいつも真っ白だった。ボロボロになるほどに着古されてはいたが、きちんとブラシをかけた薄いグレイのフランネルの上着が彼のがっしりした足の上をふわふわと舞って」（“his linen always of immaculate whiteness; a suit of thin gray flannel, worn threadbare but scrupulously brushed, floated about his burly limbs.” p.188）いる。

流行に左右されたくない、という頑固な Captain Whalley の姿勢はほかにも、汽船という機械文明よりも帆船という自然の力を好む、という考え方にも見られる。これらはある意味では作者コンラッド自身の頑固—徹な船に対する理想という主観的な考え方の一つとみなすことができる。これが困じて昂じて、作者はさらに船についての彼なりの考え方を表している部分がある。

A laid-up steamer was a dead thing and no mistake; a sailing ship somehow seems always ready to spring into life with the breath of the incorruptible heaven: but a steamer, though Captain Whalley, with her fires out, without the warm whiffs from below meeting you on her decks, without the hiss of steam, the clangs of iron in her breast——lies there as cold and still and pulseless as a corpse. (p.214)

係留されている汽船は間違いなく生命のなくなった物体だ。ところがどういう訳か、帆船というものは尽きることのない大空の息吹がくるといつでもすぐに生き返るように思える。しかし、汽船はエンジンの火が消えて、下の機関室からあがってくる暖かい蒸気がなくなり、そのシューという音やその心臓部の鉄のカランカランという音が消えると、たちどころに冷たくなって動かなくなり、まるで死体のように鼓動も打たなくなるのだ、と船長は考えた。

顎を胸にわずかに沈めて手を後ろに組んで足下のかすかに波打つ砂利道をステッキの先に当てながら「もし人間のいない船が魂のない人間だとしたら、乗る船のない水夫というもの、あてどもなく海の上を漂う丸太も同然で、この世の中では詰まらぬものだ。丸太自体はしっかりしていて、繊維もしっかりしているし、壊れ難いが、それがどうしたというのだ」（“...if a ship without a man was like a body without a soul, a sailor without a ship was of not much more account in this world than an aimless log adrift upon the sea. The log might be sound enough by itself,

tough of fibre, and hard to destroy——but what of that!” p.191) と彼は人混みの中を歩きながら自分はまだ十分現役の船乗りとして仕事こなせるのにどうして仕事がないのか、というやりきれない気持ちになる。

(4) Captain Elliot 像

Captain Whalley が当てもなく職を探して波止場を歩いているときに偶然声をかけてくれる人物は Captain Elliot という「港湾局長」(“Master-Attendant of the port”) で、彼の昔からの友人である。この公職はあまり人気はなく、その上、Captain Elliot が持ち前の「人の性格や行動についてガミガミ、ずけずけと歯に衣を着せずに話す」(“uproarious, choleric frankness of his comments on people’s character and conduct” p.196) ために評判も良くない。また、彼の風采について作者は次のように描いている。

...a man of an old-fashioned and gouty aspect, with hair as white as his won, but with shaved, florid cheeks, wearing a necktie——almost a neck cloth——whose stiff ends projected far beyond his chin; with round legs, round arms, a round body, a round face generally producing the effect of his short figure having been distended by means of an air-pump as much as the seams of his clothing would stand. (p.195)

古めかしい衣服を纏い、痛風を患っているような表情をして、髪は彼と同じくらい白かったが、髭を剃って血色のよい頬をしていたし、首巻きともいえそうなネクタイをつけてその固い先端は顎よりも突き出していた。丸い脚、腕、それに胴体とぼっちゃりした顔で、衣服の縫い目ははちきれんばかりに一杯にポンプで膨らましたような短軀を見せていた。

年齢や風采にしてはいささか不似合いなピチピチでチンチクリンのアルパカのジャケットのポケットに手をつこんでこの港湾局長は不自由な足どりでもまっすぐに前方を見つめて歩いていく Captain Whalley の肩に頭が届くほどの身長でチョコチョコと並んで歩く。

Captain Elliot は級友との話の中で、ある船の船員の補充をしたという話に Captain Whalley は “you would not have had any trouble, if you had sent for me.” という。この言葉はいささか Captain Elliot を驚かせると同時に、何か今の Captain Whalley の曖昧な姿勢は「何かある」という状況を暗示させる。それは Captain Whalley の “involuntarily” (p.200), “negligently” (p.201), “with a sort of amused absent-mindedness” (p.201) という言葉などに表れている。社会的な地位もある Captain Elliot の方はひどく人生に疲れている。彼は「本国に戻るまでに年金を最大限まで獲得できるほどいまの職業にしがみつく」が、それは「貧困のほかのなにものでもない」(“He only hung on to his berth so long in order to get his pension on the highest scale before he went home. It would be no better than poverty.” p.201) という。そして、彼にとっての「最大の不安と悩みの根元」(“a source of the greatest anxiety and worry to him. Enough to drive a man distracted.” p.201) は3人の娘で、彼女たちは「朝から晩までテニスをしたり、三文小説を読んで」(“Doing! Doing nothing. That’s just it. Lawn-tennis and silly novels from morning tonight...” p.201) 過ごしているという。結局、Captain Elliot にとっては「娘って言う奴は全く心配と不安の種だぜ」(“Girls are the very devil for worry and anxiety” p.201) ということになり、Whalley が「ああ、うちの娘はうまくやっているよ」(“Ay! Mine is doing well” p.202) と、我が娘に対する盲目的な信頼を置いているのと対照的である。

(5) Massy 像

「飲んだくれのボイラー職人の倅」(“the child of a drunken boiler maker” p.268)として生まれ、働いていた工場から北国の石炭船の機関室に飛び込んでいった Massy が、富とはどんなものか、あれこれ考えをめぐらせる。ポケットに金貨をいっぱい詰めて子供の頃から溝も隅から隅まで知り尽くした Hull の界隈を歩き回り、その金で家を買ひ、結婚している姉妹たちやその亭主たち、そして、昔の工場で働いていた仲間たちが無限の尊敬を払ってくれる。このようにして自分の言葉は絶対的なものになる。1等機関士になるまでは失業していたというのに。そして、Paunchy Charley でよく知られている Cario Mariani という Denham の Hotel の街のむさ苦しい場末の Maltese Hotel の主人がいかにペコペコと愉快そうにあのニュースの後に彼の前に現れたが、こうしたことはすべて「金の威力」(“the true power of money” p.269)であることを彼は覚る。

Captain Elliot の話によると Sofala 号の船主は自称白人でその船の機関長を兼ねているという。その船の船主になったいきさつは、この男は15年くらい前、本国の船で3等機関士であったが、船長や機関長と喧嘩をして解雇されたという全く「反抗的な」(“Clearly mutinous sort of chap” p.204)性格の持ち主である。その後、当時の船の士官や機関士たちの間で流行った Manila lottery に夢中になる。彼はこの籤で2等を引き当てるという幸運に巡り会う。ちょうどその頃、売りに出されていた Sofala 号を手に入れて、船主になるという彼の夢が実現する。ところが、この新船主は激昂しやすく、大金を手に入れた途端、その喜びで平静を失ってしまう。その姿は、帽子を左目が隠れるほどにかぶり、手にした杖は左右に持ち変えながら、荷役のことで港湾局に走り込むと、役所の一人一人に「誰も今度こそは俺を追い出すことなんかできやしないぞ。」(“Nobody could put him out now.” p.205)とまくしたてる。彼の興奮したこのような姿はすさまじく、とうとう彼のいる間は役所の仕事が一時中断するほどである。

たしかに彼は当たりくじの金で船を手に入れることはできたが、手持ちの金はなくなり、その上、船長がいなかったために船が動かせず、仕事ができないという現実と直面する。しかも、仕事の面では、ドイツ系の船会社など協力的な競争相手が多くて「何でも落ちたものはいつでもすぐ取りに行くような水中の鮫」のように貪欲、狡猾で Sofala 号のような船の入り込む余地はない。その上、船長がいらない。港湾局長 Elliot があれこれと世話をするが、だれもが「1ヵ月も、変わることはないつまらない暮らしをして、一回の航海でクビにされるような職業についてたまるものか。」(“What was the good of taking the berth to lead a regular dog's life and then get the rack at the end of the first trip?” p.206)と言って逃げてしまう。この鼻っ柱の強い船主は機関長であった。肝心の船長不在という彼の弱みを利用して彼を取りまくみんなが、この向こう意気の荒い船主を困らせて次第に窮地に追い込んでやろうとしたが、この Mr. Massy は「船を手放すくらいなら船の中に居座って餓死する方がましだ」(“starve to death in his cabin rather than sell her.” p.206)とがんばるところにもこの男のしたたかさが表れている。作者はこうした Massy の傍若無人な姿を “audacity” と “a most impudent manner” (p.208)を持った Mr. Massy であるとしている。この機関長の Mr. Massy なる人物は港の界隈からは一番の嫌われ者である。辛辣で、狡猾な性格の持ち主であり、さすがの Whalley もこの人物を一目見て “I did not like that fellow” (p.205)と言わしめるほどである。容貌については次のように表されている。

...His black hair lay plastered in long lankly wisps across the bald summit of his head; he had a furrowed brow, a yellow complexion, and a thick shapeless nose. A scanty growth of whisker did not conceal the contour of his jaw. His aspect was of brooding care; and sucking at a curved black mouthpiece, he presented such a heavy

overhanging profile that even the Serang could not help reflecting sometimes upon the extreme unloveliness of some white men. (p.216)

...黒髪が頭のとっぺんの禿げたところ長くひょろひょろの束になってへばりついていて、額は皺が多く、顔色は黄色で太い団子鼻だった。あまり濃くもない頬髭は顎の輪郭まで隠すところまでは広がっていなかった。物思いで沈みそうな表情をして、曲がった黒い桜の木のパイプを口にして煙を吸うときはひどく深刻そうな表情をするので、さすがの Serang も白人の中にひどく不快なものを時に感じざるをえないほどだった。

Massy の傍若無人で傲慢な態度は他の彼の作品の中にも随所に見られる悪役のヒーローたちにも共通している。ただ、Massy が最も苦手とするのが Captain Whalley であることは、両者を対照的に描くことで分かる。たとえば、「相棒と言うか、影武者と言うか、このマレー人を連れていているという船長さんのこの妙なまねが僕にはわからん。」(“I could never understand that new mania of yours of having this Malay here for your shadow, partner.” p.216) と Massy は船長に問いかける場面がある。彼の唐突な出現と語りかけに対しても Captain Whalley は全く動じないため、Massy はまるでおびえきったかのように手にしたパイプをぶるぶるふるわせて、こそこそと退散してしまう。ここに、無言の Captain Whalley を窺わせるが、それと同時に、彼の姿が対照的に描かれている。そして、Massy は「深く暗澹として、鉄の灰色の光が船の回りの波の強い眩しさをうけてひんやりする川にも思われる」(“..deep and full of gloom; and the gray gleams of steel down there seemed cool after the intense glare of the sea around the ship.” p.222) 暗いエンジンルームで、まるで長い間、道理に合わない憤慨をするという彼だけの世界に生きてきた、と作者は言う。

(6) Jack 像

Massy 同様に機関室で働く彼のただ一人の部下の機関士が Jack である。表情の描写はほとんど見られないが、「中年の無愛想な男」(“a middle-aged man with an inattentive manner” p.222) で船底の暗いエンジンルームで毎日を過ごしているため「口にする言葉を無くしてしまった」(“...seemed to have lost the use of speech” p.222) のである。人との交際はなく、仲間との会食もそこそこにすぐにエンジンルームに降りていく。上陸してもどこで何をしているのか、全く謎に包まれているため、時には「アイルランドの歩兵部隊の軍曹の細君に彼が熱を入れあげている、というところでもない噂話」(“a wild and incoherent tale of his infatuation for the wife of a sergeant in an Irish infantry regiment” p.223) もあったが、実際の程は確かでなく、単なる噂話に終わる。しかし、この Jack がいったん酒が入ると人柄が変わってしまう。素面の時には全く他人には無関心なのに、実は「何年も前から Sofala 号で働いていた白人すべての名前を覚えていたことに気がつく。亡くなった人々、陸にあがった人々、アメリカに渡った人々の名前を覚えていた。酔っぱらうと彼は Sofala 号との繋がりがとても短くて Mr. Massy が状況を忘れ、顔を思い浮かべることもおぼつかないような人々の名前」(“the names of men that had died, that had gone home, that had gone to America: he remembered in his cups the names of men whose connection with the ship had been so short that Massy had almost forgotten its circumstances and could barely recall their faces” p.223) を覚えていた。そして、これらの人々についてはあることないことすべて「スキャンダラスなひどくてあきれるような作り話で」(“with an extraordinary and ingenious venom of scandalous inventions” p.223) 片っ端からケチをつけていくが、どうしたことか彼の上司の Mr. Massy については常に好意的である。しかし、彼のこの無邪気な酔っぱらいのたわごとがこの作品の後半で大きな役目を果たすことになる。

いつものように酔っぱらって船に帰って自室にいつものように一人おしゃべりをしているところを、隣の部屋で Mr. Massy が聞き耳を立てている場面がある。

“Massy ! I love the dirty rascal. He would like to see his poor old Jack starve——; but just you look where he has climbed to...” he hiccupped in a superior, leisurely manner... “Ship owning it with the best. Alottery ticket you want. Ha ! ha ! I will give you lottery tickets, my boy. Let the old ship sink and the old chum starve——that’s right. He don’t go wrong——Massy don’t. No he. He’s a genius——that man is. That’s the way to win your money. Ship and chum must go.”

“The silly fool has taken it to heart,” muttered Massy to himself. And, listening with softened expression of face for any slight sign of returning drowsiness, he was discouraged profoundly by a burst of laughter full of joyful irony.

“Would like to see her at the bottom of the sea ! Oh, you clever, clever devil ! Wish her sunk, eh ? I should think you would, my boy ; the damned old thing and all your troubles with her. Rake in the insurance money——turn your back on your old chum——all’s well——gentleman again.” (p.312)

Massy ! 俺は汚れたあの野郎が好きさ。奴はあの哀れな Jack 奴が餓死するのが見たいのさ——だが、奴がやってきたところを見ろ…」彼は得意満面でゆとりがありそうにしゃっくりをした…「そいつも一番うまく手に入れることか。当たりくじがほしいのは。奴は ! 俺がその籤をやってみようじゃないか。あのぼろ船を沈めて爺さんを餓死させることだな——それで結構じゃないか。野郎は大丈夫さ。Massy はね。ほんとだよ。奴は天才だぞ。——まったく。それが金儲けの道さ。船と野郎がいなくならんくちャ。」

「あの間抜け野郎はこんなことを考えていたのか」Massy はつぶやいた。そして、またウトウトしてくるような気配の和らいだ顔をして耳を傾けながら彼は、楽しそうな皮肉に満ちた高らかな笑い声にひどくがっかりした。

船が海の藻屑になるのが見たいのだよ。ああ、この利口な奴め。船を沈めたいのか。そうだろうな、おい。あの老い耄れとこれまでの煩わしさをすっかりあの船もろともだぜ。保険金をかき集めるのだ——あの老い耄れ船長とはおさらばよ——それで万事うまくいくのさ——また「左団扇」だ。

Jack のこの独り言が Massy にどのように影響を与えたかは明らかである。金策に窮していた Massy にとってはまさに天恵である。それは次の Massy の表情に窺われる。

...A grim stillness had come over Massy’s face. Only his big eyes rolled uneasily. The raving fool. And yet it was all true. Yes. Lottery tickets, too. And yet it was all true. Yes. Lottery tickets, too. All true. What ? Beginning again ? He wished he wouldn’t... (p.312)

気味悪い落ち着きが Massy の顔に浮かんた。大きな黒い目だけが落ち着かず、クルクル動いた。とんでもない間抜けだ。しかも、それが凶星だった。そうだ。当たりくじもその通りだった。ズバリそのものだった。何だって ? 何をまた始めるかだって ? 彼はそうでならないように望んでいたのだが...

結局、作者は Jack について容貌の描写こそしていないが、彼の日常の行動や、Massy に対する謀略の起爆剤の役目を担わせている。おそらく、彼のこうした奇妙な行動、酒癖などは作者が現役の海上生活の時代に目のあたりにした光景、エピソードを素材にしていたと考えられる。

(7) Sterne 像

あくまで、表面上は無口で人との交際もなく、ただ、黙々とエンジンルームで働き続ける Jack がちょうど船のエンジンそのものを象徴している。プロットは「起爆剤」的な役割りを持っているのに対して、1等航海士 Sterne の容貌は「長身の若い、スラリとした口ひげをまるで軽騎兵のように蓄えていて、目にはどこか意地悪いところ」(“He was tall, young, lean, with a moustache like a trooper, and something malicious in the eye.” p.217) と描かれている。作品の中で初めて姿をブリッジに見る場面で、すでに Captain Whalley がどこか挙動が不審であると見抜いている。機関長の Massy にそれを知らせるために肘で軽く突いて彼を怒らせる。Massy のそのような注意に一向にお構いなしのいかにも “malicious” な部分がみられる。彼はもともと「大手の船会社の下級士官」(“a junior in one of the larger concerns” p.235) であったが、「全体的な方針から」(“on general principles” p.235) その職場を離れたと言う。しかし、結局は「昇進が遅い」(“The promotion in the employ was very slow.” p.235) という彼の特徴とも見られる打算的な性格のためにやめた、というのが本音である。

この性格は、Sofala 号に一等航海士として志願して Captain Whalley に面接に来たときの容貌がいかにも彼の性格を表した描写になっている。

He had come to Captain Whalley freshly shaved, red faced, thin-flanked, throwing out his lean chest; and had recited his little tale with an open and manly assurance. Now and then his eyes quivered slightly, his hand would steal up to the end of the flaming moustache; his eyebrows were straight, furry, of a chestnut color and the directness of his gaze seemed to tremble on the verge of impudence. (p.236)

髭を剃ってさっぱりとした赤ら顔で、腹は凹んでいるくせに貧相な胸を張っていた。そして率直にハキハキと彼の経歴を話した。時折、かすかに臉をふるわせて、手をふさふさした口元の髭の先にそっと当てていた。くろぐろした眉毛はまっすぐで長くのびて、クルミ色をしていてまっすぐに見つめるその視線は傲慢になりそうになるとビクリと震えるようであった。

この人物は話しかけられると、体全体ひどく恭しい態度を見せて、慇懃な微笑を浮かべるが、絶えず目をしょぼしょぼさせて、「なにが奇妙なまるで、彼があらゆる生き物を欺き、ほかの人々には見透かすことのできないなにかとてつもないジョークのような秘密を持っている」(“something quizzical, as though he had possessed the secret of some universal joke cheating all creation and impenetrable to other mortals.” p.236) が窺われる。それは Massy の「おまえはへびみtainな人間だなあ」(“You are a sneak.” p.237) という表現になって表れているが、この男の最もほしい「昇進」(“promotion” p.238) という打算的な欲をあからさまに見せる。

A chap in business I know (well up in the world he is now) used to tell me that this was the proper way. ‘Always push on to the front,’ he would say. ‘Keep yourself well before your boss. Interfere when ever you get a chance. Show him what you know. Worry him into seeing you.’ That was his advice. Now no other boss than you here.

You are the owner, and no one else counts for that much in my eyes. See, Mr. Massy? I want to get on. I make no secret of it that I am one of the sort that means to get on. These are the men to make use of, sir. You haven't arrived at the top of the tree, sir, without finding that out——I daresay. (p.238)

「私の知っている企業に勤めている男は（今はなかなか出世していますがね）世渡りの定石っていうのをよく話してくれましたよ。それは『押しの一手』という奴ですよ。『上司の前では行儀よく振舞っておくこと。チャンスをつかんだら逃さない。自分の知っていることは上司に話す。上司を心配させてこっちに相談にくるように仕向ける。』これがその男の教えですよ。今、私にはここで上司と言ったらあなただけです。あなたは船主ですし、私の目から見ると、あなたにかなうものはいません。いいですか、Massy さん。私は出世したいのです。はっきり言って自分はそのような人間なのですよ。そういった連中が役に立つって言うものなんですよ。それを見つけたさなきゃ人の上に立てませんよ。」

彼のこのような打算的な性格ゆえに、この Sofala 号は彼にとって船長の座を狙うには格好の標的になっている。それは「老人が船長であるという利点、さらに、必然的に何等かの原因で近いうちに船長の座を放棄しそうな人物」（“It was a great advantage to have an old man for captain: the sort of man besides who in the nature of things was likely to give up the job before long from one cause or another.” p.240）という現実がある。そして、彼には「いわば、生まれつきのように彼ら船長の誰の行動だって事情をよく知っていて、常に『しっかり見張りをにつける』者が油断のない見張りを続けるとボロがでるという信念」（“as it were constitutionally, he was faithful to the belief that the conduct of no single one of them would stand the test of careful watching by a man who knew what's what' and who kept his eyesskinned pretty well at the time” p.239）に基づいて Captain Whalley の行動に目をとめている。やがて、ある日、「発見」（“Then one day he made his discovery.” p.241）をする。

It came to him after all the these weeks of watchful observation and puzzled surmises, suddenly, like the long-sought solution of a riddle that suggests itself to the mind in a flash. Not with the same authority, however, Great heaven! Could it be that? And after remaining thunderstruck for a few seconds he tried to shake it off with self-contumely, as though it had been the product of an unhealthy bias toward the In discreditable, the Inexplicable, the Unheard-of-the Mad! (p.241)

注意深い観察と不可解な憶測の何週間かがすぎて、突然にまるで閃光となって、あの長い間かかって謎が解けたように、彼に浮かんできたのである。しかしながら、それと同じような根拠から浮かんできたのではない。いやはや！そんなことがあり得るのだろうか。電撃に打たれたようにしばらく呆然として、彼はそんな馬鹿なことはないと思い、それを振り払おうとした。それはまるで途方もないもの、言い様のないもの——狂ったものに対してのけしからぬ偏見の産物のようであった。

この発見は作者お得意の壮大な自然を描くことで、読者にその重大さを植え付けようとしている。光景こそ異なるが、正しく *Macbeth* (1606) の冒頭の雷鳴の轟く荒野に登場する妖婆の場면을髣髴とさせる。勿論、Sterne には *Macbeth* のような勇猛で残虐な性格こそないが、名誉欲など、ある意味では両者は共通しているだけに Sterne の執念の凄さがうかがえる。

Sterne の注意深い Captain Whalley についての観察の結果、ブリッジの Captain Whalley とその脇に控えているマレー人のボースン (serang) に不信感を抱き始める。

What a big heavy man he appeared up there, with that little shrimp of a Serang in close attendance——as was usual in this extraordinary steamer! Confounded absurd custom that. He resented it. Surely the old fellow could have looked after his ship without that loafing native at his elbow. Sterne wriggled his shoulders with disgust. What was it? Indolence or what? (pp.248-249)

すぐ傍らにあの小さな小エビみみたいな Serang を従えて、船長はあそこにいると何という大きな人物に見えるのだろう——こんなとんでもない汽船では見慣れた光景だというのに。忌々しい馬鹿げた習わしだ。彼はそれには憤慨した。確かにあの爺さんはすぐ脇にあのやくざなマレー人がいなくても自分の船の面倒くらいは見れたはずなのに。Sterne は軽蔑して肩をすくめた。あれは何なのだ。職務怠慢ではないのか。それとも何だと言うのだ。

Sterne の彼らに対する不審は同時にわれわれ読者のものでもあり、この Story の一つのテーマにもなっている。船長は全く動かず、Serang が動き回り、指示を下している。この両者の様子を見て Sterne は「常につきまとうパイロットフィッシュを従えて鯨」(“a whale with an inseparable pilot-fish” p.249) にたとえている。Massy は Captain Whalley を “Shark” (p.250) と呼ぶのに対して、Sterne は “a whale” と呼ぶ。これは Captain Whalley の名前に囚んでいることを連想させると同時に、Sterne の表現が最もわれわれ読者に Captain Whalley 像を与えている。

彼が船長の秘密を発見したときの形容はやたらに様々の修飾語句を並べているが、いったいその秘密が何なのか、読者にははっきりしない。ただ、わずかにほのめかす二人のやりとりの部分から感じとられるだけである。

“Serang!”

“Tuan!”

“You are watching the compass well?”

“Yes, I am watching, Tuan.”

“The ship is making her course?”

“She is, Tuan. Very straight.”

“It is well; and remember, serang, that the order is, that you are to wind the helmsmen and keep a lookout with care, the same as if I were not on deck.”
(pp.253-254)

「セラン (ボースン)」

「はい、船長」

「コンパスをしっかり見守っているか？」

「はい、船長。」

「本船は予定通りの針路を進んでいるな？」

「はい、船長。異常ありません。」

「よろしい。それから、セラン、儼がいてもいなくても変わらず、舵手に、気をつけて厳重な見張りを続けるようにという命令を忘れてはならないぞ。」

誰が聞いてもこれは当直中の、一般の船長とクォーターマスターの間で交わされる会話とするにはいかにも奇妙であり、不自然である。Sterneにしてみても当然であろう。「自分の周囲のあるものごとくが、ますます静かになり、深い静寂にどんどん沈み込んでいく」(“Everything round Sterne seemed to become more still and more profoundly silent” p.254)ように思えてくる。さらに彼は、この発見をすぐに公にして騒いだ方がよいのか、誰に告げるべきかと心中で迷いがある。船には、4人の士官がいる。2等機関士のJackはノロマで、自分の担当の部署以外のことはまったく疎い。そして、Massyがいる。船主で、好奇心の人一倍ある男で、思いこんだらそれに夢中になってしまう。また、船長の秘密にも気付いていないらしい。Sterneは決心する。

“I must” thought Sterne, “bring that brute Massy to his bearings. It’s getting too absurd in the end He’s the old man up there buried in his chair—he may just as well be in his grave for all the use he’ll ever be in the world—and the Serang’s in charge. Because that’s what he is. In charge. In the place that’s mine by rights. I must bring that savage brute to his bearings. I’ll do it at once, too...” (p.259)

「いやな奴だが、あのMassyにおのれの立場を覚えてやらなきゃ。結局はとんだお笑い種になるさ。船長はそこで椅子にどっかりと座っている爺さんだ——世間じゃお役に立つかもしれないが、自分の墓の中にいる方がましだ——そして、セランが世話をするのさ。だって、それが奴の役割なんだぜ。面倒をみるのが。その代わりに当然のことながら、俺様が船長よ。あのいやな奴に己の立場を知らさなきゃならん。それも今すぐ…」とSterneは考えた。

Sterneは自分の発見したCaptain Whalleyの秘密を知らせることによって、Whalleyを追いついて、その船長の座に自分が就こうとい密かなたくらみを持って、船主であり、機関長のMr. Massyの部屋へ行く。ここに、条件、背景こそ異なるが、*Othello* (1622)の中でIagoが語る言葉の中に、彼のVirtueに対する哲学と、the MoorのOthelloへの復讐のためにOthelloからDesdemonaを引き裂く画策を始める場面にも共通点が見える。

Virtue? a fig! ’tis in ourselves, that we are thus, or thus+our bodies are gardens, to the which our wills are gardeners, so that if we will plant nettles, or sow lettuce, set hyssop, and weed up thyme; supplis it with one gender of herbs, or distract it with many; either to have it sterile with idleness, or manur’d with industry, why, the power, and corrigible authority of this, lies in our wills. If the balance of our lives had not one scale of reason, to poise another of sensuality, the blood and baseness of our natures would conduct us to most preposterous conclusions. But we have reason to cool our ranging motions, our carnal stings, our unbitted lusts; where of I take this, that you call love, to be a sect, or scion. (*Othello* Act I, Scene III, ii, 322-337)

SterneがMassyに囁きかけるように話す中には、ちょうどIagoがOthelloに語りかける内容に相通じるところがある。

“You simply couldn’t conceive what’s going on on board your ship. It wouldn’t enter your head for a moment. You are too good——too——too upright.

Mr. Massy. to suspect anybody of such a...It's enough to make your hair stand on end." (pp.261-262)

「あんたはただ、この船で何か起ころうとしているのかを思いつけないだけなのさ。これっぽちも浮かんじゃこないよ。人が好すぎるんだ——あまりに——あまりに正直すぎるのさ。Massy さんよ。だから、あんな奴でも疑うなんてできないのさ…髪の毛が逆立つくらいびっくりするんだがな。

さらに、それは船長を非難する言葉へと続く。「ぼくなら、あんな格好をとりゃしないね——あ——あそこにいるどこかの横着爺さんのようにね。」(“I wouldn't try to give myself airs like that——that——er——lazy specimen of an old man up there.” p.263) Sterne は強引に Massy の部屋に入り込んで懸命に自分を公認の船長にするために売り込もうとするが、勿論、Massy には、このような Sterne の思惑は見えている。そして、Sterne のこの Iago 的な行動は次には Batu Beru のプランテーションの事業主 Mr. Van Wyk に及んでくる。Sofala 号が Mr. Van Wyk のいる Batu Beru に入港して、Mr. Van Wyk が乗船すると、真っ先に対応にでてくるのは Sterne である。彼は慇懃な返答をするが、その声にはすでに Captain Whalley を差し置いて自分こそは次期船長である、といわんばかりの意気込みがある。その傲慢な態度はついには Mr. Van Wyk をして「君はなかなか抜け目がなさそうだな」(“You seem to be a shrewd man” p.309) と言わしめるほどである。

(8) Sterne に見られるアイロニー

Captain Whalley と別れて Mr. Van Wyk が Sofala 号を出ていこうとしたとき、1等航海士の Sterne が、郵便物をまだ渡していない、と言って呼び止めて、まさに Iago 的な話し方を始める。「私の話していることにまったく私の善意を信じていただいていないんじゃないかと思ひまして。」(“I am afraid you give me no credit whatever for my good intention in the matter I've spoken to you about.” p.296) と言って Mr. Van Wyk の戸惑いを尻目に Sterne はさらに言葉を続ける。

“Captain Whalley is a very audacious man, but he will understand that his game is up. That's all that anybody need ever know of it from me. Believe me, I am very considerate in this, but duty is duty. I don't want to make a fuss. All I ask you, as his friend, is to tell him from me that the game's up. That will be sufficient.” (p.296)

「Captain Whalley は本当に肝っ玉のある人ですよ。しかし、もうそろそろあの人の小細工は尽きたくらいのことは分かりますよ。そのニュースだけは私しか手に入りませんよ。ほんとなんですよ。このことかけちゃ私だって思慮分別もありますからね。仕事は仕事ですよ。大騒ぎをしたいとは思いませんがね。あの人の友人として私があなたに頼みたいのは、小細工はおしまいだ、と伝えてほしいことだけです。それだけで結構ですから。

こうした Sterne の話から Mr. Wyk は「あいつは正々堂々とおのれの大勝負をするほどの勇氣は持ち合わせていないようだ」(“It looks as if the fellow had not the pluck to play his own precious game openly.” p.292) と言うものだったが、確かに Sterne の内心は Mr. Van Wyk には見透かされている。

...but if Captain Whalley left the ship of his own accord, the command would devolve upon him for the rest of the trip; so he hit upon the brilliant idea of scaring the old man away. A vague menace, a mere hint, would be enough in such a brazen case; and, with a strange admixture of compassion, he thought that Batu Beru was a very good place for throwing up the sponge. The skipper could go ashore quietly, and stay with that Dutch man of his. Weren't these two as thick as thieves together? And on reflection he seemed to see that there was a way to work the whole thing to see that there was a way to work the whole thing through that great friend of the old man's. (p.297)

...しかし、もし Captain Whalley が自分の都合で船をやめることになる、後の航海は指揮を彼にゆだねることになる。そこで、彼にはこの老人を追いつ出すというすばらしい考えが浮かんできた。それとなく脅すという、ちょっとしたヒントでも、こんな厚かましいときには十分だ。それに、奇妙な同情心が入り交じって、Batu Beru はあの居候野郎を投げ出すには格好の場所だと考えた。船長はおとなしく上陸してあのオランダ人と暮らすことができるだろう。この二人は泥棒みたいに親密じゃなかったのか。そう考えると、彼はあの老人の親友からコトはすべて通じる道がある、と考えた。

Iago には心底、悪魔的な冷酷な姿が感じとれるが、この点では、Sterne の間抜けな性格が描かれている。そこには、作者独特のアイロニーさえもうかがえる。ブリッジで Captain Whalley とマレー人の Serang の挙動に目を離さず凝視しているところは、どこか *The Rober* (1923) の Bron Scevola の冷酷な革命党員を読者に連想させ、慄然とさせる。しかし、おのれの名誉欲がために、慇懃に Mr. Van Wyk におのれの思うところをすべて取りとめもなくしゃべり続ける姿には彼の別の面がうかがわれる。

ある時、Mr. Van Wyk が Sofala 号を立ち去ろうとしたとき 1 等航海士の Sterne に出会う。彼はまさに「波止場を徘徊するネコ」(“a cat on the wharf” p.206) と形容されるように Mr. Van Wyk との接触を狙っていたときである。Sterne は長い間の恨み辛みを Mr. Van Wyk の「屋敷」(“up at the house” p.306) で話したいと暗にほめめかすが、Mr. Van Wyk は何気なくそれを避け、川土手の木陰での立ち話にもっていく。Mr. Van Wyk が「確かに事態は深刻だね」(“the situation is grave beyond doubt.” p.306) と誘い水をかけると Sterne はここぞとばかり話し始める。

“I thought, Mr. Wyk, a gentleman of your sort would see at once how awkwardly I was situated.”

“Yes, very. Obviously his health is bad. Perhaps he's breaking up. I see, and he himself is well aware——I assume I am speaking to a man of sense——I am speaking to a man of sense——he is well aware that his legs are giving out.”

“His legs——ah!” Mr. Sterne was disconcerted, and then turned sulky. “You may call it his legs if you like; what I want to know is whether he intends to clear out quietly. That's a good one, too! His legs! Pooh!”

“Why, yes. Only look at the way he walks,” Van Wyk took him up on a perfectly cool and undoubting tone. “The question, however, is whether your sense of duty does not carry you too far from your true interest. After all, I, too, could do something to serve you. You know who I am.” (p.307)

「Mr. Van Wyk、あなたのような立派なお方だったら、私の置かれている立場がいかに不都合なものか、たちどころにお分かりのことでしょう。」

「ああ、そうですね。明らかに彼は健康を損ねていますね。おそらく彼は参ってしまいますよ。たぶん、彼自身もよくよく気付いています——私は良識をお持ちの方に話をしていると知っているのですが——彼は足がやられていることはすっかり分かっていますよ。」

「彼の——足がね、ああ」Mr. Sterneはあわてたが、やがて、不機嫌に変わった。

「そりゃ、それが奴の足だと言えるかもしれませんがね。でも、私が知りたいのは、奴がおとなしく船を降りるつもりがあるかどうかですよ。そのニュースも満便でもないですがね。奴の足がねえ。」

「ああ、そうですね。彼の歩きぶりを見たら分かりますよ。」Mr. Van Wyk はまったく冷静できっぱりした口調でかわした。「しかしながら、問題はあなたの役に立つためには何かできると言うことですね。私が何者かはご存知でしょうね。」

「この海峡界限では誰でも知っていますよ。」

いかにもトンチンカンな会話である。Sterneにしてみると、Mr. Van Wyk に Captain Whalley の目の不自由さを伝えて後任の船長に自分になりたくて仕方がないのである。Mr. Van Wyk はわざと彼を家に案内することも避けている。ここでも、Captain Whalley の目の不自由なことは納得しながらも、Sterne に対してはとぼけている。Mr. Van Wyk の、否、言い換えると、作者の Sterne に対する姿勢が見える。また “the old Serang” について Sterne は Mr. Van Wyk に状況を説明する。

再び Mr. Van Wyk が Sterne に「君は抜け目のない人のようだな。」(“You seem to be a shrewd man,” p.309) と評している。そして、この言葉に対して、Sterne は「私がうってつけの使用人だと言うことが今に分かりますよ。」(“You’ll find me a good enough servant, sir.” p.309) とすっかり Mr. Van Wyk の下で働いているような、チグハグな感覚になっている。彼の間抜けぶりはさらに続く。

Mr. Sterne hoped now for a handshake at least, but unexpectedly with a “What’s this? Better not to be seen together,” Mr. Van Wyk’s white shape wavered, and instantly seemed to melt away in the black air under the roof of boughs. The mate was startled. (p.309)

Sterne は「思いがけず自分に転がり込んでくる出世」(“sudden success” p.310) に有頂天になって Sofala 号に戻ってくると、Mr. Massy が船室の前で中から聞こえてくる酔っぱらった声に腹を立てて怒鳴っている場面にでくわす。彼はこのトラブルをうまく取りなすが、寝床についても、Sterne は夢見心地で有頂天になっている。

汽船 Sofala 号が Mr. Van Wyk のいる Batu Beru を出航して次の寄港地 Pangu に向かって川を下っている冒頭の場面で Mr. Van Wyk はいつもと違ってこの時は見送らない。「見送っても、彼には見えないのだから」(“He couldn’t see me if I did.” p.315) と彼は言う。その代わりに、彼の心の中でこの船の航海を思い浮かべる。

一方、Sofala 号では、8時から真夜中にかけては Sterne が当直にあたるが、彼は Mr. Van Wyk の話で自分の前に明るく開けている未来が実現することを夢見て、絶えず上機嫌で勤務に就いている。ところが、Mr. Van Wyk の方は皮肉なことに、そのころは「Sofala 号のことはすっかり忘れてやっ

と熟睡することができた」(“and about that time Mr. Van Wyk's thought abandoned the Sofala. Mr. Van Wyk had fallen asleep at last.” p.316)ここにも Mr. Van Wyk と Sterne の間にはチグハグな関係、あるいは「すれ違い」のアイロニーが表れている。Sterne には確かに悪役的な要素は十分見られるが、その中に、ちょうどあの Bron Scevola 的な性格、つまり、残酷ではあるが Mr. Van Wyk がいみじくも見抜いたあの小心さがある。この点で、悪役に徹している Iago とは一線を画していると言えよう。

参考文献

Joseph Conrad: *Youth: A Narrative, Heart of Darkness, The End of the Tether*

Dent: London, 1971 pp.339-343

Joseph Conrad: *The Rover*

Dent: London, 1965 p.286

D. C. Browning, M. A., B. Litt. prefatory Noted: *Shakespeare's Tragedies*

Dent: London, 1964, Overman Library, Dutton: New York pp.968-982

M. R. Ridley, Edited: *The Arden Edition of the Works of William Shakespeare, Othello*

Methuen&Co Ltd., London 1977, p.246

Norman Sherry: *Conrad's Eastern World*

Cambridge the University Press, Cambridge, 1966, pp.291-340

W. Shakespeare: *SHAKESPEARE MACBETH* マクベス

澤村寅二郎訳注 研究社新訳註叢書, 研究社, 昭和41年, pp.217-220

H. V. Mrrot: *The Life and Letter of John Galsworthy*

William Heinemann Ltd. London, Toronto, 1935. pp.804-819

(平成8年4月15日受付)

NiAs 型 CrSe の電子構造

(一般科目) 小山通榮

(広島大学理学部) 八方直久, 佐藤 仁, 古田明仁,
仲武昌史, 谷口雅樹,

(電気工学科) 植田義文

Electronic Structures of CrSe with NiAs-type Crystal Structure

Michie KOYAMA, Naohisa HAPPO,
Hitoshi SATO, Akihito FURUTA,
Masashi NAKATAKE, Masaki TANIGUCHI,
Yoshifumi UEDA

Valence-band and conduction-band electronic structures of NiAs-type CrSe have been investigated by means of ultraviolet photoemission and inverse-photoemission spectroscopies. Based on the comparison with the results of band-theory, features at -1.5 eV and 1.6 eV relative to the valence-band maximum are assigned to emission from occupied Cr 3d \uparrow and unoccupied Cr 3d \downarrow states with nearly localized character. The energy separation between two peaks provides the Cr 3d spin-exchange splitting energy of 3.1 ± 0.2 eV, in relatively good agreement with result of the band-structure calculation. The other structures in the valence and conduction bands originate from hybridization between the Cr 3d and the Se 4p bonding and antibonding states, respectively.

Key Words: CrSe, 真空紫外光電子分光, 逆光電子分光, 電子構造

CrSe, ultraviolet photoemission, inverse-photoemission, electronic structure

§1 はじめに

CrSe は NiAs 型を基本とした結晶構造を持つ反強磁性化合物であり, 転移点 ($T_i = 575\text{K}$) において高温相の NiAs 型から T_i 以下で MnP 型へと構造相転移を起こす¹⁾。また, T_i において半導体-金属転移に伴う電気伝導度や帯磁率に異常がみられ^{2,3)}, Néel 点は $94 \sim 320\text{K}$ と幅広い値が報告されている²⁻⁵⁾。

同様に, Cr-Se 系化合物は以前より数多くの研究がなされており, 他の 3d 遷移金属カルコゲナイド化合物にみられるような, 原子空孔や圧力により特有な性質を示す。中でも, Cr_2Se_3 については中性子線回折により磁気構造が明らかにされている⁶⁾。Néel 点以下で磁気相転移が起こり, 転移点付近においては負の熱膨脹を示している⁷⁾。また, 佐藤らの単結晶の反射スペクトルの測定によると, フォトンエネルギーが 0.3 eV 付近で吸収端を持つナローギャップ半導体である⁸⁾。

このような構造相転移や磁気秩序はフェルミエネルギー (E_F) 近傍の電子状態と関係があると考えられている⁹⁾。CrSe の電子構造を明らかにすることは, この物質の磁気構造あるいは結晶構造に

関する相転移現象を解明する上で重要である。

本研究では真空紫外光電子分光及び逆光電子分光法により、価電子帯及び伝導帯スペクトルを測定し、それぞれの電子状態密度を求めた。また、これらのスペクトルの結合エネルギーを E_F で結合することにより、Cr3d スピン分裂交換エネルギーを評価した。これらの実験結果は、Dijkstra らによって行われた CrSe のバンド計算¹⁰⁾とよい対応がみられる。

§ 2 実験

この実験に使用した CrSe の試料は99.99%Cr と99.99%Se を1:1で混合し、石英管に真空封入した。この石英管の一端を900℃、他端をおよそ400℃にしておよそ一週間直接反応させ、素試料を得た。得られた素試料は一度粉砕し、よく混合した後、再び石英管に真空封入した。石英管を二重にして真空封入し、1550℃まで加熱して数時間保った後、数日間かけて室温に冷却した。得られた結晶はX線回折により、結晶性を確認し、格子定数の $a=3.684\text{\AA}$ と $c=6.019\text{\AA}$ を得た。CrSe の組成は電子プローブ微小分析により、CrSe の一様な結晶であることを確認した。

正・逆光電子分光装置は、試料準備槽、真空紫外光電子分光 (UPS) 装置と逆光電子分光 (IPES) 装置から成り立っており、それぞれ 2×10^{-10} , 5×10^{-10} , 2×10^{-10} Torr の超高真空に保たれている。逆光電子分光装置は Erdmann-Zipf 型低エネルギー電子銃と9.43 eV に中心を持つバンドパス光電子検出器を使用している^{11,12)}。光電子分光実験は He I ($h\nu=21.2\text{ eV}$), He II ($h\nu=40.8\text{ eV}$) の共鳴線が励起光源として使用されている。試料は試料準備槽でファイリングを行った後、真空を破ることなく同一試料表面に対して光電子分光と逆光電子分光の測定を行った。実験はすべて室温で行った。

§ 3 実験結果及び検討

図1(a)はフォトンエネルギー ($h\nu$) が21.2 eV と40.8 eV における価電子帯の光電子スペクトルと伝導帯の逆光電子スペクトルを示す。光電子スペクトルと逆光電子スペクトルの結合エネルギーは価電子帯頂上を基準とし、 E_F で結合したものである。 $h\nu=21.2\text{ eV}$ と40.8 eV の光電子スペクトルは、矢印で表されるように、-1.5, -4.0, -6.7 eV に3つのピークを示している。他にも-0.4 eV に肩構造が見られる。更に、 $h\nu=40.8\text{ eV}$ のスペクトルには-10.7 eV 付近にブロードな構造を示している。特に、 $h\nu=40.8\text{ eV}$ のスペクトルには-1.5 eV に鋭いピークが見られる。一方、伝導帯スペクトルでは1.6 eV に主ピークが、5~11 eV にブロードな構造が見られる。

Dijkstra らによって CrSe のバンド計算が増強球面波近似 (ASW) によって行われている¹⁰⁾。図1(b)は求められた CrSe の反強磁性状態の状態密度を示している。鋭いピークが-0.8と1.9 eV にみられ、状態密度の特徴からこれは実験から求められたスペクトルとよく一致している。0~-7.5 eV のエネルギー範囲にわたり、Cr3d と4p の混成された構造がみられ、-0.8 eV に Cr3d ($t_{2g}\uparrow$) が局在している。一方、伝導帯では1.9 eV に非占有状態の Cr3d ($t_{2g}\downarrow$) の鋭いピークがある。これらの2つのピークから Cr3d 交換分裂エネルギーは2.7 eV であることが理論的に求められている。

$h\nu=40.8\text{ eV}$ では Cr3d 軌道のイオン化断面積は Se4p 軌道のものより大きい¹³⁾。このことから $h\nu=40.8\text{ eV}$ のスペクトルの形状は主に Cr3d 状態に起因していると考えられる。-1.5 eV の鋭いピークは、Cr3p-3d 内殻共鳴光電子スペクトルにより得られた Cr3d 部分状態密度にも見られ¹⁴⁾、局在化した Cr3d ($t_{2g}\uparrow$) 軌道によるものと考えられる。 $h\nu=21.2\text{ eV}$ では Cr3d 軌道と Se4p 軌道のイオン化断面積はほぼ等しいことから、 $h\nu=21.2\text{ eV}$ の価電子帯スペクトルは Cr3d 状態と共に Se4p 状態の情報も与える。これらのことより、図1(a)の $h\nu=21.2\text{ eV}$ において0~-8 eV に広がっているスペクトルは、Cr3d と Se4p 軌道との混成によるものであり、図1(b)のバンド理論の計算値ともよく対応している。また、-10.7 eV のピークは Se4s 軌道によると考えられる。

一方、伝導帯スペクトルに見られる1.6eVの主ピークはバンド理論との比較から局在化したCr3d ($t_{2g}\downarrow$) 非占有軌道であることがわかる。5~11eVのブロードな構造はCr4sとSe4d又はSe5s状態によるものと考えられる。in situによる価電子帯と伝導帯のスペクトルの測定により、 E_F でのこれらのスペクトルを結合することができる。価電子帯の-1.5eVのピークと伝導帯の1.6eVのピークから、Cr3d交換分裂エネルギーを $3.1\pm0.2\text{eV}$ と直接実験的に得ることができた。

理論的なCr3d交換分裂エネルギー2.7eVは実験で求められたエネルギー3.1eVよりもわずかに小さい。また、バンド計算によるスペクトルの形状は実験で求められたスペクトルの形状よりもわずかに高エネルギー側にシフトしているが、実験値と理論値はよく対応していると考えられる。

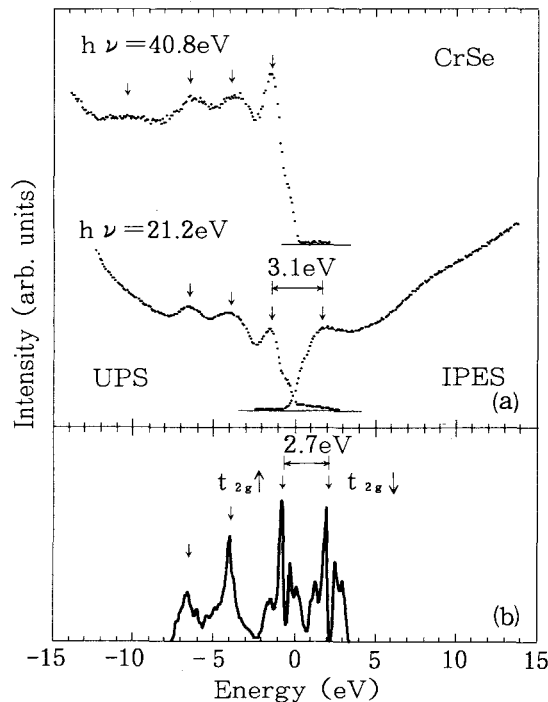


図 1

(a) フォントエネルギー ($h\nu$) が40.8eVと21.2eVで測定されたNiAs型CrSeの光電子スペクトルと、逆光電子スペクトル。価電子帯スペクトルは-1.5, -4.0, -6.7eVに3つのピークを示している。価電子帯スペクトルの-1.5eVの鋭いピークは局在化したCr3d \uparrow 占有軌道によるものであり、伝導帯スペクトルの1.6eVのピークはCr3d \downarrow 非占有軌道によるものである。これらのピークエネルギー差からCr3d交換分裂エネルギー $3.1\pm0.2\text{eV}$ が得られる。

(b) Dijkstraらによって計算されたCrSeの状態密度。スペクトルは-7.5eVから3.3eVにわたるエネルギー範囲に広がっており、-6.6, -4.0, -0.8, 1.9eVに4つのピークがある。-0.8eVと1.9eVの鋭いピークはそれぞれの局在化したCr3d \uparrow 占有軌道とCr3d \downarrow 非占有軌道に起因する。これらのピークのエネルギー差から理論的なCr3d交換分裂エネルギー2.7eVが得られる。

参考文献

- 1) 小山通栄, 増本貫一, 桧原忠幹, 上垣内孝彦, 日本物理学会春の分科会 講演予稿集, 157 (1977).
- 2) K. Masumoto, T. Hihara and T. Kamigaichi, J. Phys. Soc. Japan 17 (1962) 1209.
- 3) K. Masumoto and T. Kamigaichi, J. Sci. Hiroshima Univ. A29 (1965) 47.
- 4) K. Masumoto, J. Sci. Hiroshima Univ. A27 (1964) 87.
- 5) I. Tsubokawa, J. Phys. Soc. Japan 15 (1960) 2243.
- 6) Y. Adachi, M. Ohashi, T. Kaneko, M. Yuzuri, Y. Yamaguchi, S. Funahashi and Y. Morii, J. Phys. Soc. Japan 63 (1994) 1548.
- 7) S. Ohta, Y. Adachi, T. Kaneko, M. Yuzuri and H. Yoshida, J. Phys. Soc. Japan 63 (1994) 2225.
- 8) K. Sato, Y. Aman, M. Hirai and M. Fujisawa, J. Phys. Soc. Japan 59 (1990) 435.
- 9) 望月和子, 加藤敬子, 固体物理 21 (1986) 627.
- 10) J. Dijkstra, C. F. van Bruggen, C. Hass and R. A. de Groot, J. Phys.: Condens. Matter 1 (1989) 9163.
- 11) K. Yokoyama, K. Nishihara, K. Mimura, Y. Hari, M. Taniguchi, Y. Ueda and M. Fujisawa, Rev. Sci. Instrum., 64 (1993) 87.
- 12) Y. Ueda, K. Nishihara, K. Mimura, Y. Hari, M. Taniguchi and M. Fujisawa, Nucl. Instrum. Methods, A 330 (1993) 140.
- 13) J. J. Yeh and I. Lindau, At. Data Nucl. Data Tables, 32 (1985) 7.
- 14) 小山通栄, 八方直久, 田村昌望, 原田二郎, 佐藤仁, 三原隆弘, 谷口雅樹, 植田義文, 呉高専研究報告 31-1 (1995) 1

(平成8年4月15日受付)

マイクロコンピュータによる自立型移動ロボットの制御

(機械工学科) 野 原 稔

Operation Control of Self-Support Robot by One Chip Microcomputer

Minoru NOHARA

Today one chip microcomputers are utilized in various fields of our life and help us in our work. They are supposed to be parts of different kinds of machines and help them to control their mechanism. One chip microcomputers have control of air conditioners, computers and the other instruments.

The author made the self-support robot which could recognize the position to pass from one point to another, and designed the hardware and software which could control this robot by one chip microcomputers.

Key Words: Robot, Micro Computer, Operation Control, Simulation
ロボット, マイクロコンピュータ, 制御, シミュレーション

§1 緒言

現在の半導体産業の発展はめざましいものがあり、家電製品、パソコンおよび自動車等に半導体が多数使用されている。また、製品の高性能化や小型化そして多機能化に伴い、マイクロコンピュータを組み込んだ製品が非常に増加してきている。マイクロコンピュータのシステム構成は、中央演算処理部のCPUとRAMおよびROM等の記憶素子、そしてシステム制御信号の入出力用I/Oポートや外部機器とのインターフェース部の周辺回路から成立している⁽¹⁾。従来、このシステム構成は、CPU、記憶素子および各々の機能ブロックに分かれた周辺LSI等を組み合わせて構成していた。しかし、高機能ワンチップマイコンは、チップ1個でコンピュータシステムの実現を指向し、汎用のCPUと様々な周辺LSIやI/O回路を盛り込んでワンチップ化されている。ワンチップマイコンを使用すると、CPUと周辺回路を含むデバッグ済みのハードウェアが即座に実現でき、ハードウェア的に簡単化できる。また、そのシステムを動作させるためのソフトウェアの開発もパーソナルコンピュータを使用して容易に行える。このため、チップ数の低下、高速化、信頼性の向上からワンチップマイコンの需要と生産量は増大し、制御を必要とされるほとんどの製品に採用されている⁽²⁾。

本研究においては、光センサに反応して移動方向を判別し、動作する自立型の移動ロボットを製作した。これらの移動ロボットを、マイクロコンピュータを使用して制御するためのハードウェアとソフトウェアを設計したので、これらの製作過程および動作状態について報告する。

§2 ロボットの構成

2.1 自立型ロボット

現在、各分野で色々なロボットが使われている^⑧。これらのロボットは、組み込まれたプログラムで動作する自立型と外部から人間によって操作される操作型に分類される。本研究で製作した自立型ロボット（以降、ロボットと呼ぶ）は、軽量でコンパクトなロボットを目標に製作したものである。ボディーは、アルミ材を使用して軽量化を行った。このロボットの完成写真を図1、全体図を図2に示す。ロボットの駆動用には直流モータ（以降、モータと呼ぶ）を2個使用し、一方のモータを回転、他方のそれを停止させることにより右方向および左方向の動作が可能な構造とした。モータ軸側にウォーム、タイヤ軸側にウォームホイールを取り付け、ロボット全体の自重を加えてもモータが動作する電圧および検知センサに反応して動作するロボットのスピード等を考慮してモータ電圧を6Vとした。

電子部品を取り付ける基板は、72×95mmの板を使用し、Z80CPUを内蔵する基板およびモータドライバ等を組み込んだ。また、ライン検知センサにフォトセンサを使用し、黒のラインを認識すれば信号を出力し、その信号をCPUが受けた後、プログラムに従って信号を処理するようにした。ロボット動作用のプログラムは、アセンブラで行いこれをROMに焼き付けた。作成したプログラムは、CPUが認識できるようにマシン語化を行う必要があり、これによって初めてロボットは動作可能となる。

このようにロボットの設計は、ボディーの製作、基板の組立、プログラムの作成の大きく三つに分けることができる。

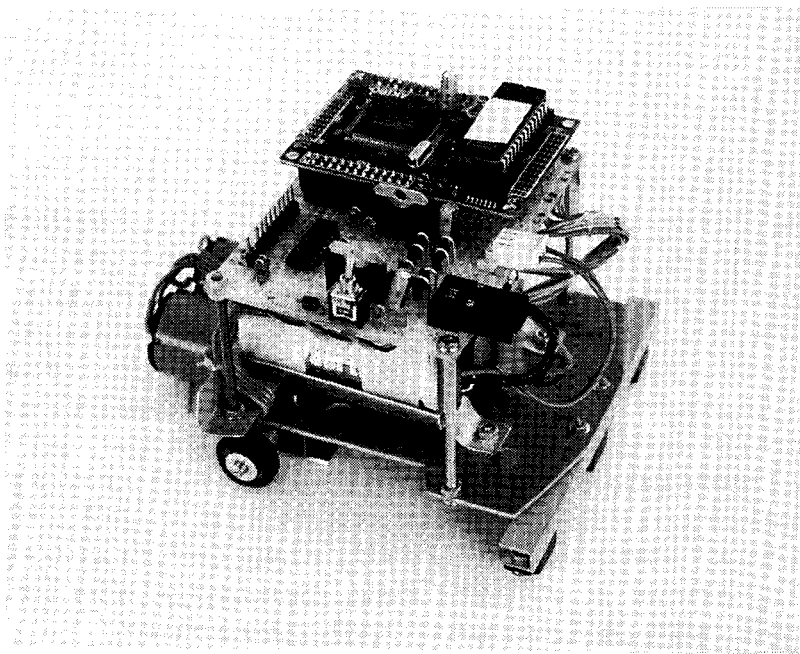


図1 自立型ロボット

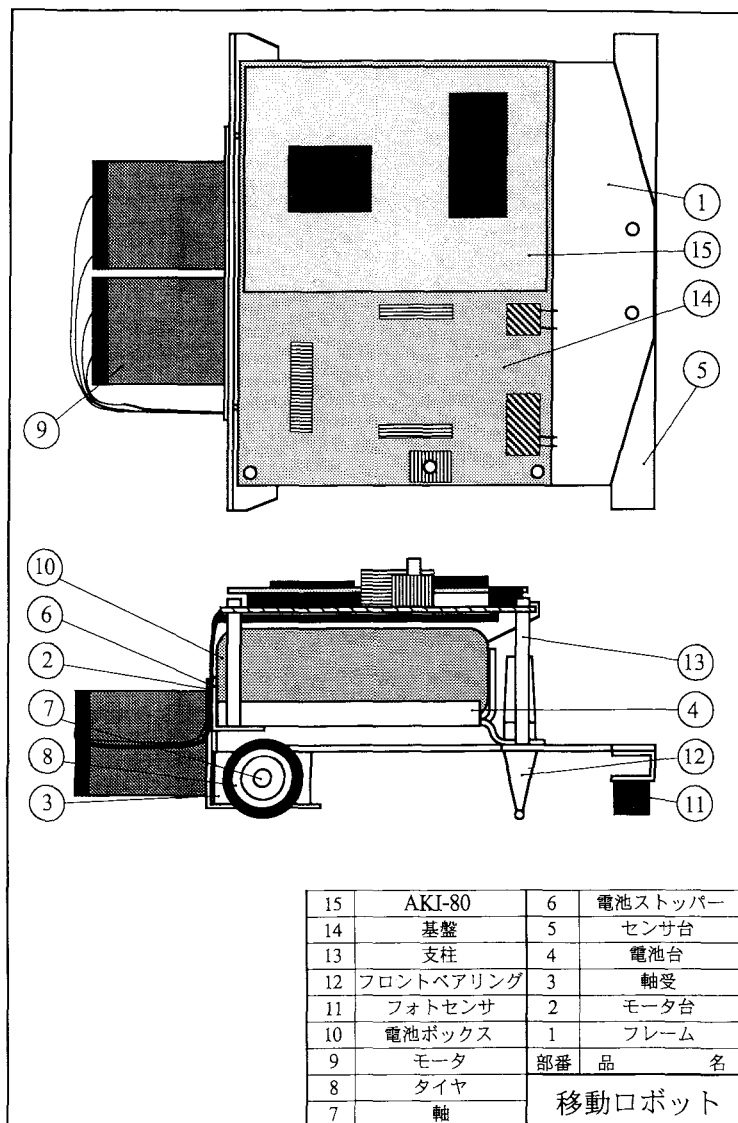


図2 ロボットの全体図

2.2 ロボットのバランス

ロボットは予想した動作を正確に行う必要がある。ロボットが前進、後退およびスムーズに回転して方向転換をするには、ロボットの重心位置が大きな問題となる。いま、組立に使用する部品で比較的重量のある物体は電池とモータである。ロボットは、二つのタイヤとフロントベアリングで支持されているため、タイヤの少し前方にロボット全体の重心がくるように重量配分をした。こうすることにより、タイヤと路面との摩擦力が大きくなり、スムーズな前進、後退および方向転換が可能となる。この状態を図3に示す。

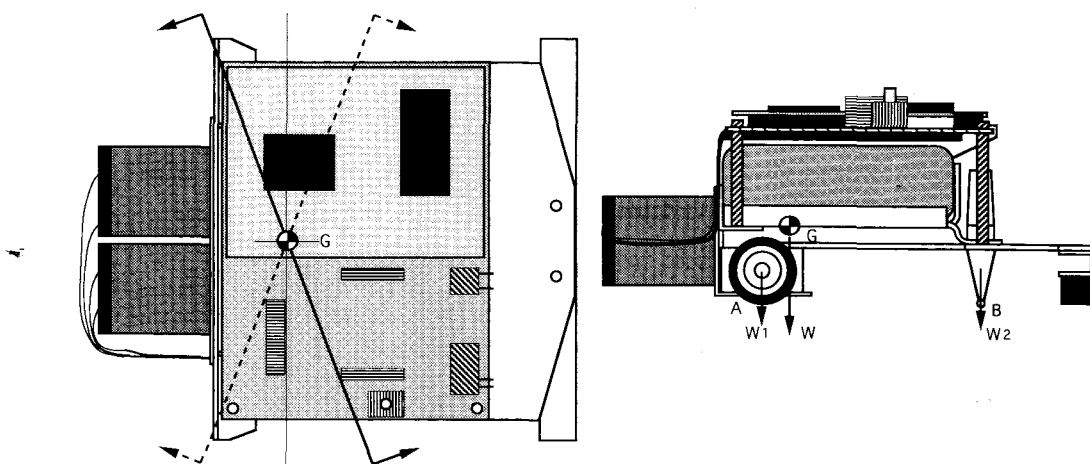


図3 ロボットの重心位置と回転状態

§3 マイコン基板

ロボットを製作するには、CPU、RAM、ROM、PIO等のメモリやインターフェース回路の選定が重要になる。これらの基板を設計し、小型の基板上に配線するには配線数が多くなり困難であるため、市販のマイコン基板（以後、マイコンと呼ぶ）を使用した。マイコンは数社から販売されているが、小型で安価なAKI-80を使用した。このマイコンは、Z80CPUを使用した小型（50×70mm）の基板で、シリアルポート、入出力ポート、タイマー等をおさめた強力なワンチップマイコン東芝製の（TMPZ84C）が搭載されており、表1に示すような機能がある。

表1 AKI-80の機能

TMPZ84 C015 BF-10	CPU	Z80CPU-10MHz	Central Processing Unit
	PIO	Z80PIO-10MHz	2組の8bit（計16）入出力ポート
	CTC	Z80CTC-10MHz	4組のカウンタ／タイマ
	SIO	Z80SIO-10MHz	2組の全二重チャンネル（2000kボー）
	CGC	Z80CGC-0MHz	クロック発振機（4つのHALTモード）
	etc	ウォッチドッグタイマ	暴走検出用タイマ
		ディジーチェーン	内部I/O用
		優先順位設定レジスタ	Z80シリーズ内部割り込み設定
システムクロック		9.8304MHz	19.2kHz*256*2 (X'tal=19.6608MHz)
メモリ	RAM	256Kbit（100ns以下）	
	ROM	64K、128K、256Kbit（100ns以下）より選択	
その他		メモリバックアップ可、リセットIC、SD8054、全フラットIC	
サイズ		50mm×70mm×10mm（但しROM）	

3.1 I/Oポートとシステム構成

マイコンに搭載されているワンチップマイコンには、カウンタタイマ用のコントローラである Z80CTC, シリアル通信用の Z80SIO, プログラムによって出力や入力を設定するための Z80PIO 等のファミリ LSI を内蔵している。Z80PIO は 8 ビットのポートを 2 個もっているパラレル I/O ポートである。このポートは 2 個のチャンネル A, B と、その動作モードをコントロールするためのレジスタチャンネル A, B がそれぞれにあり、計 4 個のアドレスを占有している。さらに各チャンネルとも 4 種類のモードがあり、その中からモードを選択できる。ここで使用したモードは、モード 3 (ビットモード) で、このモードを使用して、各ビットの入出力の設定を行った。また、モード 3 は、各信号線のビット状態による割り込みの発生および、割り込みの指定を容易に行うことが可能である。ロボットのポートの使用状況を表 2 に示す。図 4 はシステムの構成図を示す。

表 2 ポートの使用状況

Z80PIO	PIOA	A 0	中	フォトセンサ入力
		A 1	左	
		A 2	右	
	PIOB	B 0	IN 1	右モータードライバ
		B 1	IN 2	
		B 2	IN 2	左モータードライバ
		B 3	IN 1	

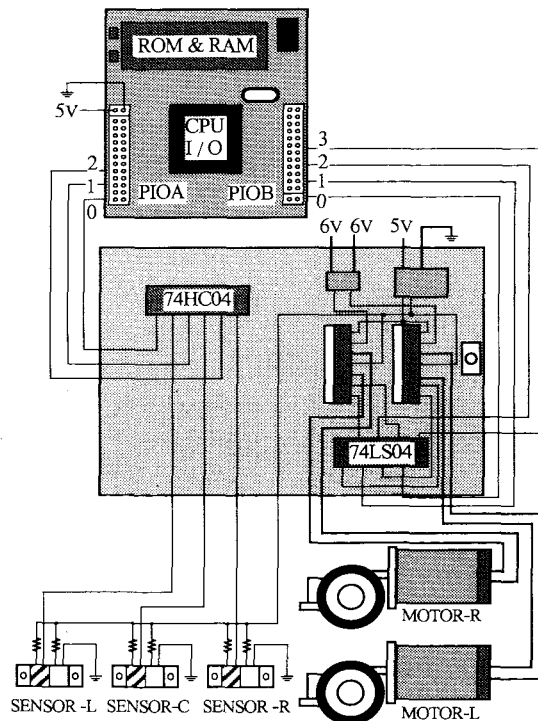


図 4 システムの構成図

§4 ロボット駆動用の周辺回路

4.1 モータドライブ回路

2輪を片方ずつ独立させて駆動させるロボットのため、二つのモータを駆動する回路が必要となる。この回路には、二つのモータドライバICを使用した。ここで使用した TA7257P は、モータのDC制御に必要な機能を1チップ化したブリッジドライバICで、耐電圧は絶対最大定格で25V、動作時で18Vを駆動することができる。このドライバICは平均電流1.5A、最大電流4.5Aを駆動することができ、正転、逆転、ブレーキ、停止の4種類の動作を2ビットのデジタル信号の組み合わせで簡単にコントロールすることができる。また、正転から逆転に切り替える際に内部回路の信号の遅延で一瞬電源とグラウンド間がショートする。この状態が繰り返されると過大な貫通電流により内部の温度が上昇するため、100 μ s 程度のストップ動作時間を入れた後、回転を切り替える必要がある。表3は TA7257P の機能を示している。

図5は、マイコンで二つのモータを制御する出力部分の配線図を示す。この回路全体に供給する電圧は5V、モータを駆動させる電圧は6Vとした。モータドライバに作用する電圧は、モータドライバの耐電圧より半分以下の電圧で使用するため、放熱設計の面でも特に問題は発生しない。マイコンの出力ポートとの接続はインバータICを介して接続し、破損がCPUに及ばないように考慮した。ドライバICのモータ側には、電源に対してダイオードをそれぞれ接続する。これはブレーキをかけたモータが発生する残留エネルギーの吸収をドライバICだけに頼らず積極的に逃すためのものであり、同時にブレーキの効き具合を改善させる働きもする。

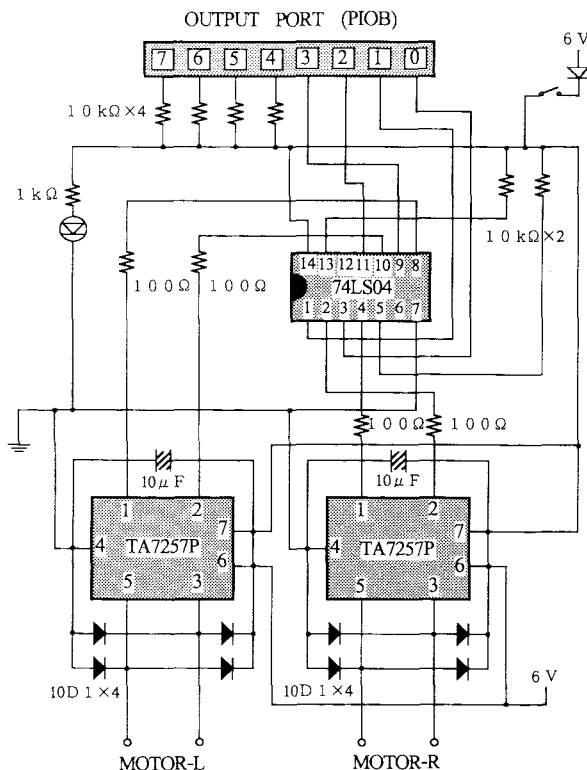


図5 出力部分の配線図

表3 モータドライバ (TA7257P) の機能

IN ₁	IN ₂	OUT ₁	OUT ₂	モード
1	1	L	L	ブレーキ
0	1	L	H	正/逆転
1	0	H	L	逆/正転
0	0	H	H	ストップ

4.2 外周検知用回路

ロボットが移動するためには、まず、自分の位置を判断する回路が必要となる。ここでは光の反射量を検出するため、LEDとフォトトランジスタが一体化したフォトセンサを使用した⁽⁴⁾⁽⁵⁾。ロボットの前方に三つのフォトセンサを配置して外周を検知するが、フォトセンサの構造上、光を感知して入力が入ることになるため、インバータで反転させ、光を感知しないとき入力が入るようにした。ここで使用したフォトセンサは、シャープのGP450Fで、5Vの動作電圧で、感知距離は1mmから5mm程度である。図6はフォトセンサの入力部分の配線図を示す。

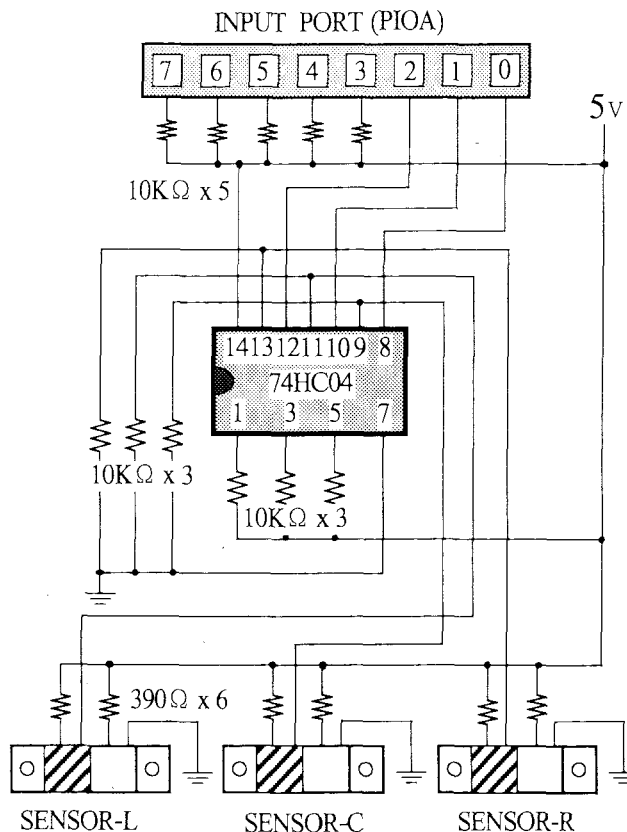
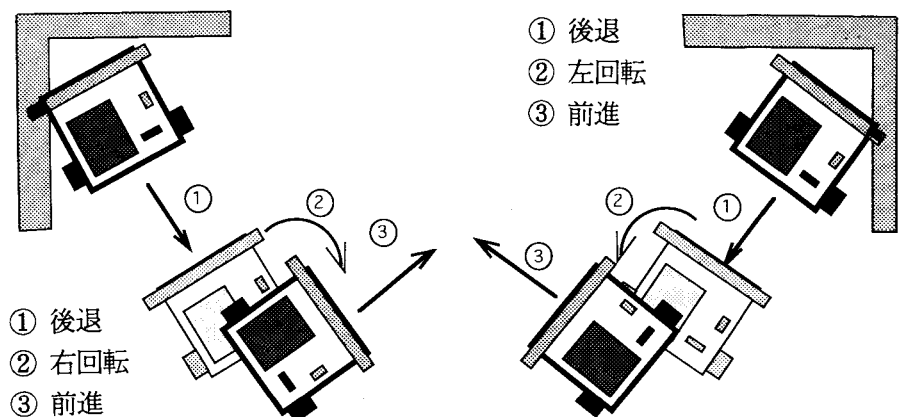


図6 入力部分の配線図

§5 プログラムのROM化

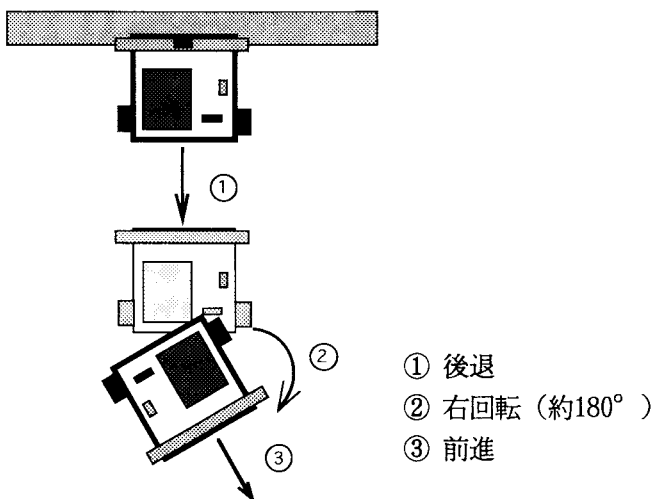
5.1 ロボットの動作

いま、プログラムの一例として、黒のラインをセンサで検知し、そのラインを回避する動作をロボットに判断させるプログラムを作成する。ライン回避動作は、後退、右回転、左回転、180°回転の4種類を考えた。この動作を組み合わせ、センサに入力された信号の状態に応じて、確実にラインを回避し次の動作に移ることができるようにする。また、もし回避動作中に他の状態が発生した場合も即座にその状態を判断し、最もよい回避動作になるようにする必要がある。そのため、プログラムはループ形式にし、その保持時間中にもセンサ判定ルーチンを組み込むことで、単純で確実なプログラムにした。図7(a)(b)(c)は、各センサに入力があった場合のロボットの動作パターンを示している。



(a) 左センサ入力の場合 (TPO, TP1)

(b) 右センサ入力の場合 (TP3)



(c) 中センサ入力の場合 (TP2)

図7 ロボットの動作パターン

5.2 動作プログラム

機械が動作するのはマシン語により構成されたプログラムがあり、そのプログラムを順次一つずつ実行するためである。しかし、このマシン語でソフトを開発するのは非常に分かりづらく困難である。そこで、必要な命令を覚えやすい記号で示したものがアセンブラである⁹⁾。アセンブラは、マシン語と比較して理解し易く、マシン語への変換も容易でシンプルなプログラミングができる特徴がある。現在では、BASICやC言語等も使用されているが、CPUにZ80を使用した場合には、アセンブラが最も適している。アセンブラでのプログラミングに慣れると素早いプログラミングが可能となり、プログラムをROM化することができる。アセンブラで作成したプログラムをマシン語へ変換するため、アセンブラのソースファイルをマシン語のオブジェクトファイルに変換する。この変換作業をアセンブルといい、これによって、はじめて実際に機器等に取り付けて動作するマシン語プログラムが完成する。図8はプログラムをROM化し、ロボットにROMを搭載する手順を示している。フローチャートを図9に、プログラムを図10(a)(b)(c)に示す。

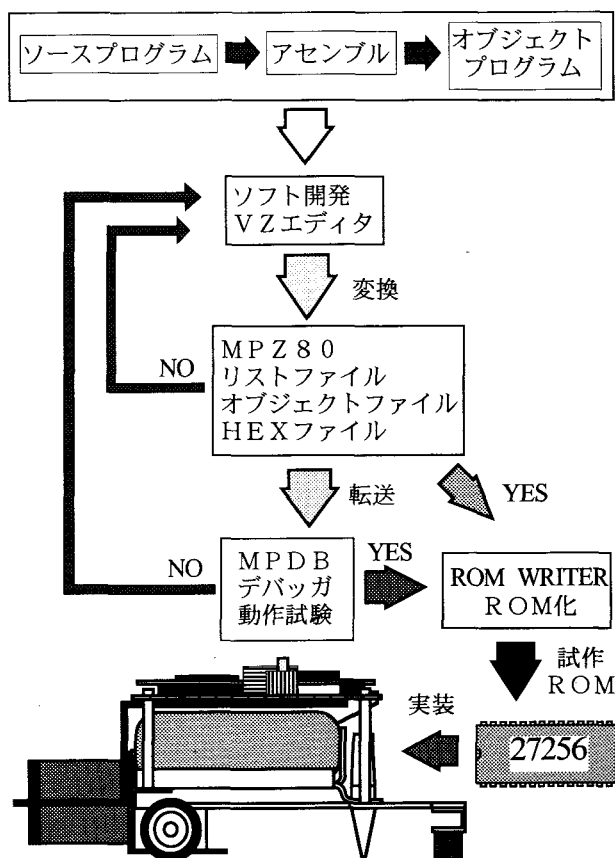


図8 プログラムの開発の流れ

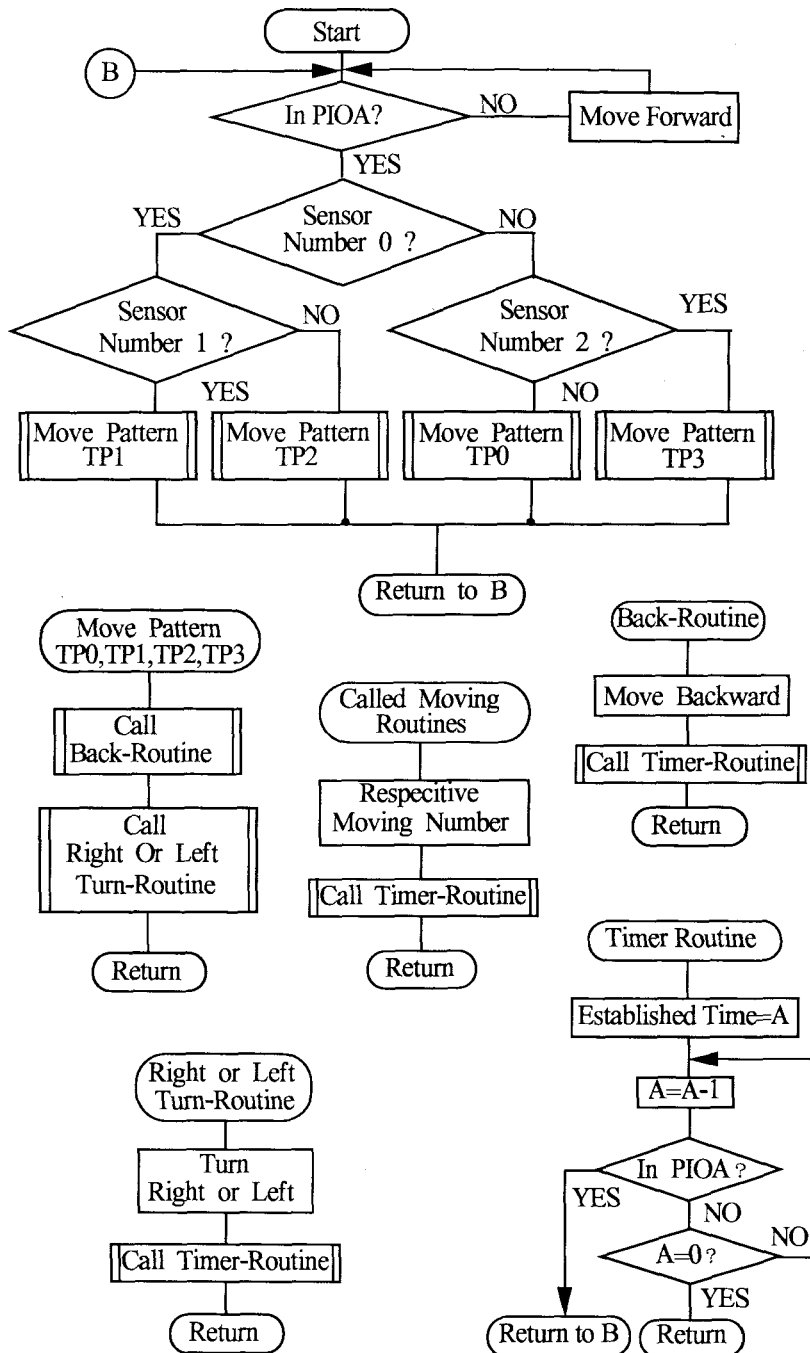


図9 フローチャート

PLOAD	equ	1ch	PIOの設定
PIOAC	equ	ldh	
PIOBD	equ	leh	
PIOBC	equ	lfh	
	org	0000h	開始アドレス0000h
	LD	SP, 0	スタックポインタ=0
	IM	2	割込みモード=2
	LD	11001111b	PIOモード3
	OUT	(PIOAC), A	
	LD	A, 11111111b	
	OUT	(PIOAC), A	
	LD	A, 00110111b	Aポート入力
	OUT	(PIOAC), A	
	LD	A, 00000011b	
	OUT	(PIOAC), A	
	LD	A, 11001111b	PIOモード3
	OUT	(PIOBC), A	
	LD	A, 00000000b	
	OUT	(PIOBC), A	
	LD	A, 00010111b	Bポート出力
	OUT	(PIOBC), A	
	LD	A, 00000011b	
	OUT	(PIOBC), A	
DD:	CALL	LWAIT3	3秒間停止
DO:	IN	A, (PLOAD)	
	BIT	0, A	中センサONならAG0へ
	JR	NZ, AG0	
	BIT	2, A	右センサONならTP3へ
	JR	NZ, TP3	
	BIT	1, A	左センサONならTP0へ
	JR	NZ, TP0	
	LD	A, 05H	入力無しなら前進
	OUT	(PIOBD), A	
	JR	DO	DOに戻る
	EI		割込許可命令
AG0:	BIT	1, A	左センサONならTP1へ
	JR	NZ, TP1	
	JR	TP2	
			入力無しならTP2へ

(a) ポートの設定および入力のチェック

図10 プログラム

TP0 :	CALL WAIT	1.0ms止まる
	CALL BBK	後退
	CALL RNT	右回転
	LD A, 0	入力を無しにする
	JP DO	DOに戻る
TP1 :	CALL WAIT	1.0ms止まる
	CALL BBK	後退
	CALL RNT2	右回転
	LD A, 0	入力を無しにする
	JP DO	DOに戻る
TP2 :	CALL WAIT	1.0ms止まる
	CALL BBK	後退
	CALL RNT3	右回転
	LD A, 0	入力を無しにする
	JP DO	DOに戻る
TP3 :	CALL WAIT	1.0ms止まる
	CALL BBK	後退
	CALL LNT	左回転
	LD A, 0	入力を無しにする
	JP DO	DOに戻る
RNT :	LD A, 09H	右回転信号出力
	OUT (PIOBD), A	保持時間 1 秒
	CALL LWAIT1	
	RET	
RNT2 :	LD A, 09H	右回転信号出力
	OUT (PIOBD), A	保持時間 2 秒
	CALL LWAIT2	
	RET	
RNT3 :	LD A, 09H	右回転信号出力
	OUT (PIOBD), A	保持時間 3 秒
	CALL LWAIT3	
	RET	
LNT :	LD A, 06H	左回転信号出力
	OUT (PIOBD), A	保持時間 1 秒
	CALL LWAIT1	
	RET	
BBK :	LD A, 0AH	逆回転信号出力
	OUT (PIOBD), A	保持時間 2 秒
	CALL LWAIT2	
	RET	

(b) 動作パターン

図10 プログラム

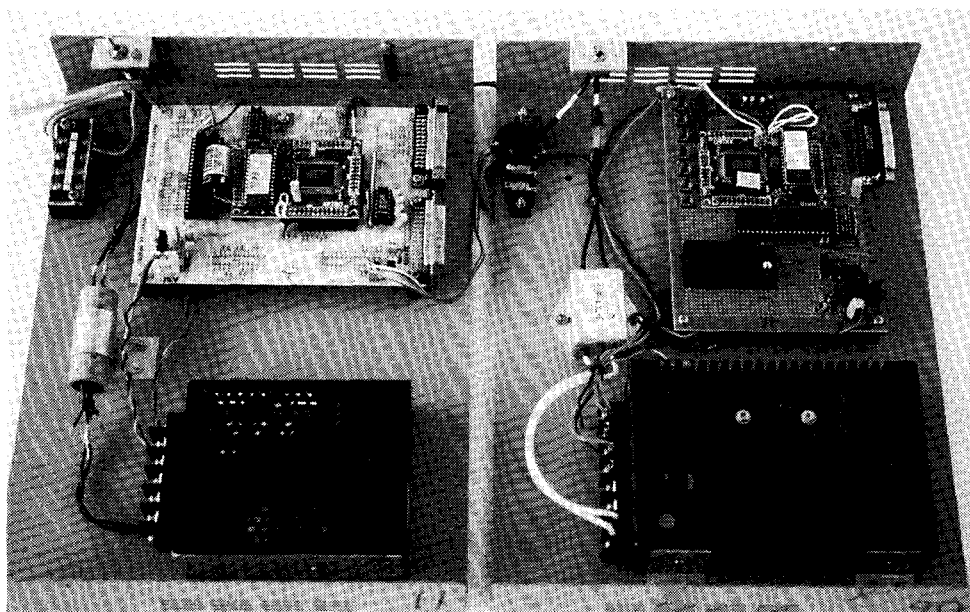
LWAIT1:	PUSH BC	} タイムルーチン1 (1.0s)
	LD B, 20	
LWT1:	CALL WAIT50	
	DJNZ LWT1	
	POP BC	
	RET	
LWAIT2:	PUSH BC	} タイムルーチン2 (2.0s)
	LD B, 40	
LWT2:	CALL WAIT50	
	DJNZ LWT2	
	POP BC	
	RET	
LWAIT3:	PUSH BC	} タイムルーチン3 (3.0s)
	LD B, 60	
LWT3:	CALL WAIT50	
	DJNZ LWT3	
	POP BC	
	RET	
WAIT50:	PUSH BC	} タイムルーチン4 (50ms)
	LD B, 50	
WT50:	CALL WAIT	
	CALL DO1	
	DJNZ WT50	
	POP BC	
	RET	
WAIT:	PUSH BC	} タイムルーチン5 (1.0ms)
	LD B, 0	
WT1:	NOP	
	DEC (HL)	
	INC (HL)	
	DJNZ WT1	
	POP BC	
	RET	
DO1:	IN A, (PIOAD)	} もしも入力があるよう なら各動作を行なう
	BIT 0, A	
	JR NZ, AG0	
	BIT 2, A	
	JR NZ, TP3	
	BIT 1, A	
	JR NZ, TP0	
	RET	
	END	> プログラム終了

(c) タイムルーチン

図10 プログラム

5.3 プログラムのデバッグ

作成したソースプログラムの動作チェックをする作業がデバッグ作業であり、それをリアルタイムで確認することのできる機器をデバッガという。デバッグは、専用ソフトを使用して、ソースプログラムの完成と同時にを行った。また、使用したデバッガは、ロボットと同様に AKI-80 を搭載した基板を製作して使用した。このデバッガの使用方法は二通りある。その一つは、パソコンと接続し作成したオブジェクトファイルをチェックする方法と、もう一つは、プログラムを焼き込んだ ROM をデバッガ本体に取り付け、単体でチェックを行う方法である。前者は、専用ソフトを使用してシミュレーションするため、確実にエラーを見つけることができる。しかし、パソコンと接続して制御しているため、本体とのアクセスに時間がかかり、プログラムで設定してある保持時間を正確に処理することができない欠点がある。後者は、確実にパソコンとデバッガ本体とのチェックが終了した後に行うもので、焼き込んだ ROM が正確に動作するかどうかを調べることができる。この二つの方法を使用することによって ROM を完成させた。ROM 化は、プログラム作成の最終作業であり、確実にプログラムやデバッグをした後に ROM 化する必要がある。ROM にプログラムを書き込むために ROM ライタを使用した。また、ROM の焼き込みに失敗した ROM は、ROM イレイサーで内容を消去し、再び ROM 化を行った。図11(a)、(b)は使用したデバッガと ROM ライタの写真を示す。



(a) デバッガ

(b) ROMライタ

図11 プログラムのROM化に要する機器

S6 結言

マイコンを使用し、自立型移動ロボットを製作した結果についてまとめると以下ようになる。

1. フォトセンサによる入力、モータドライブ回路およびマイコンによって、黒のラインを検知して移動する自立型ロボットを製作することができた。
2. プログラムの作成が容易であるため、プログラムの作成時間およびプログラムミスにともなう時間が大幅に削減できた。
3. アセンブラによるプログラムをROM化することができた。

最後に、回路等の製作において、御教示いただいた電気工学科綿井教授に感謝いたします。また、本研究は、尾屋家および山本両氏の卒業研究として行われたことを付記し、両氏に感謝します。

参考文献

- (1)トランジスタ技術スペシャル No.49, CQ出版社 (1995).
- (2)トランジスタ技術, CQ出版社 (1994. 10).
- (3)永田, 勝てる相撲ロボットロボットのつくり方, 富士ソフト (1994).
- (4)西野, マイコン+センサ活用入門, 工学図書 (1980).
- (5)西野, IC論理回路入門, 日刊工業新聞社 (1979).
- (6)額田, Z80 ファミリー・ハンドブック, CQ出版社 (1994).

(平成8年4月15日受付)

PCコントローラとマイクロコンピュータの組合せによる機器の制御

(機械工学科) 野 原 稔

Operation Control of Apparatuses by Programable Controller and Microcomputer

Minoru NOHARA

Recently there are many cases to use programable controller on the machine in order to make the production process operate automatically through the computer control. From this point of view, the author has previously manufactured the milling machine which were controlled by programable controller.

This time, the author improved individual parts of the milling machine with a higher performance. As compared with the machine which was manufactured previously, this machine has the work performance by several times. Also, the author stored the ROM with the program which controlled this system, and designed the hardware and software which could control this system by programable controller and microcomputer.

Key Words: Robot, Micro Computer, Operation Control, Simulation

ロボット, マイクロコンピュータ, 制御, シミュレーション

§1 緒言

最近の生産システムは、製品の特徴を生かすためさまざまな手段がとられ、絶対的価値判断ができないほどの広がりを見せている。モータ制御機器それだけを抜き出して優劣を論じても結論にはならず、システム全体から見た検討が結論を出すため必要である。システムを構築するためのモータおよび制御機器の選択には、これらの技術動向も参考にしなければ良い結論は出せない。

本研究においては、以前製作したモータコントローラによって動作するマイクロフライス盤の動作性能の向上を目的としてマイクロフライス盤を改造した⁽¹⁾。改造の主眼は、クロステーブルをX方向およびY方向に移動させる動作回路である。従来の動作回路は、1接点のリレーを2個使用して、X方向移動用とY方向移動用の2枚のドライバーのクロックとアップダウンをそれぞれ切替えて、クロステーブルをX方向およびY方向に移動させていた。このため、クロステーブルのX方向およびY方向の移動に少しの待ち時間が必要であった。いま、クロステーブルのよりスムーズな移動を目的として、1枚のドライバーでX方向とY方向の移動が可能のように4接点リレーを使用して、モータ側の4本の配線を同時に切替えることができるようにした。こうすることで待ち時間の少ないX方向、Y方向の移動が可能となる。また、クロステーブルおよびフライスモータを移動させるモータを低速度でトルクの大きいモータに交換した。フライスモータは実際に鋼材に穴開け加工しないため、モータ重量の大きい高トルクのモータからモータ重量の小さい低トルクのモータに交換し、上下方向(Z軸)

の移動がよりスムーズに行えるようにした。さらに、マイクロフライス盤の動きとマイクロコンピュータによって動作するアームロボットを連動させ、そのプログラムをROM化した。

§2 機器の制御システムの構成

図1は、制御する機器として選択したマイクロフライス盤（以降、フライス盤と呼ぶ）とアームロボットを示す。モータコントローラ MPC-01（以降、PCコントローラと呼ぶ）によって制御されたフライス盤は、物体を加工するために使用し、クロステーブル上に埋め込まれたセンサーにより、物体の置かれた状態を検知できる構成としている。図2はシステム構成の写真を示す。アームロボットは、物体をつかんでフライス盤に運び、加工が終わった時点で再び物体をもとに戻すために使用した。アームロボットはマイクロコンピュータ（以降、PC-G813と呼ぶ）で制御する。アームロボットの動作は、アセンブラによってプログラムを作成しそれをROM化した。

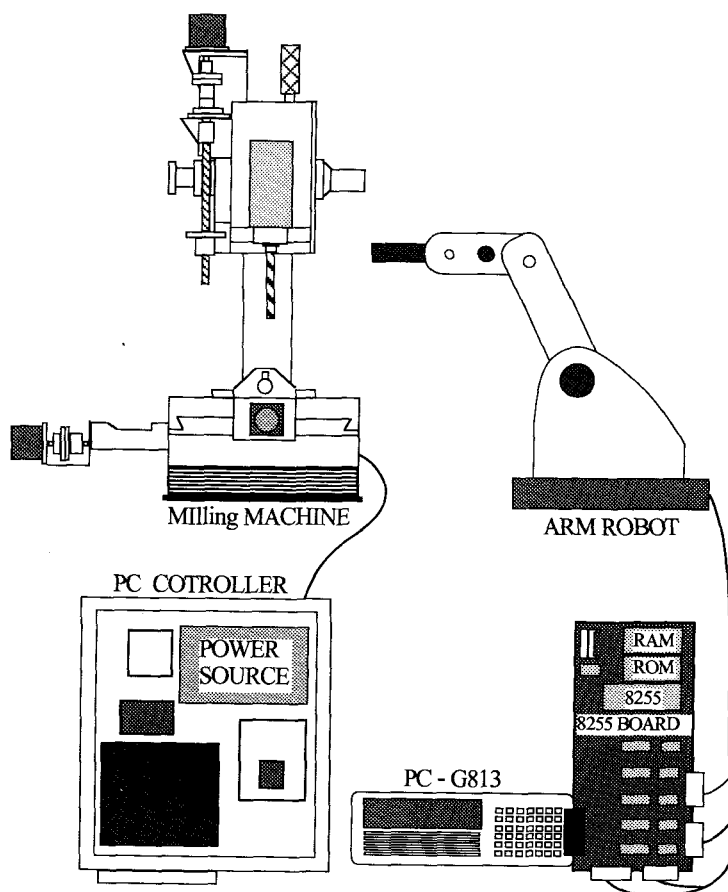


図1 システムの構成

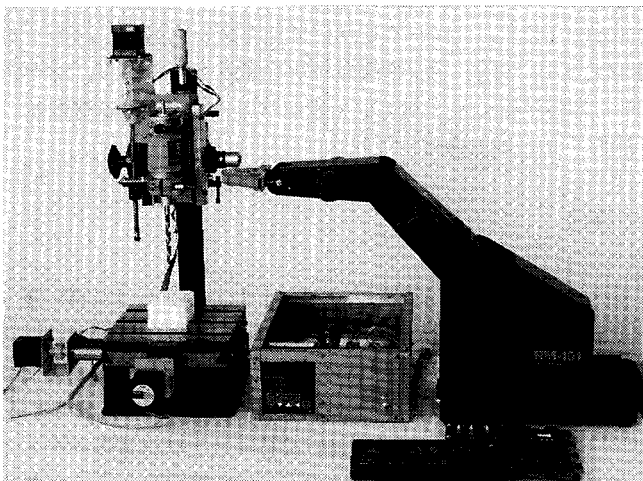


図2 システムの構成写真

2.1 フライス盤

フライス盤は、(株)キソパワーツール社製の手動フライス盤を使用した。このフライス盤は、以前、自動化したものであるが、さらに動作性能の向上を目的として改造を行った。図3は、改造した部分を丸印で示している。

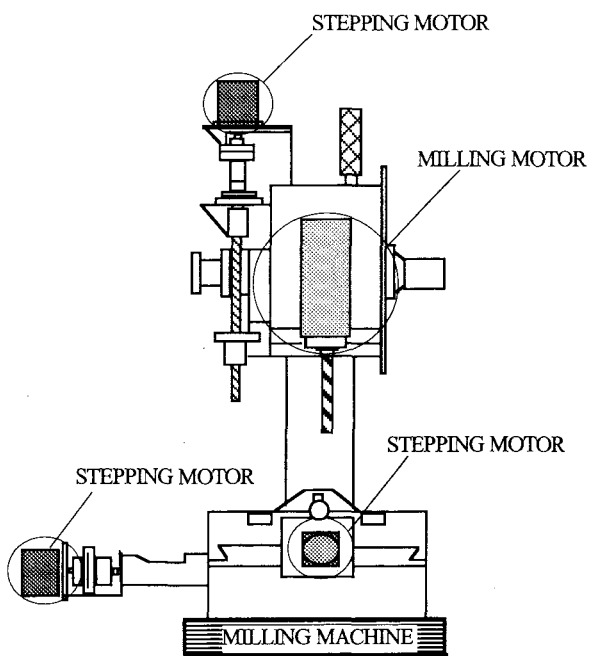


図3 スライス盤の改造部分

3.2 リレー

PCコントローラは1軸コントローラのため、直接3軸の制御をすることができない。そこで1軸コントローラの指令を、リレーを使用して3軸方向に切り替えて3軸を制御する方式とした。図5はリレーの配線図を示している。

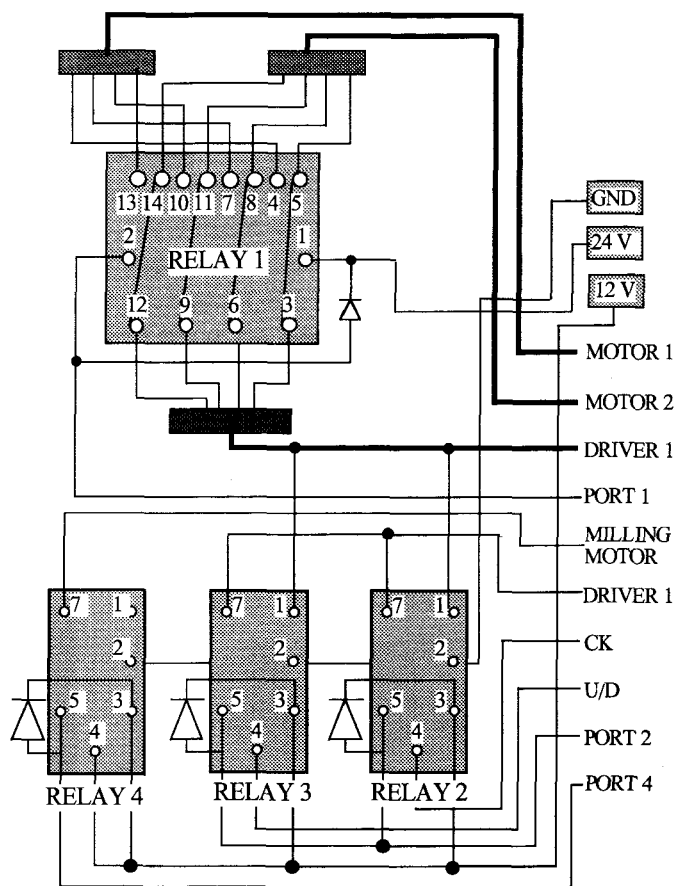


図5 リレーの配線図

3.3 PCコントローラ

PCコントローラは、リレー、カウンタ、タイマーを組み合わせ構成する論理回路の信号処理を、マイクロコンピュータに行なわせるもので、入出力部を通じて各種装置を制御して、実行するための命令を内部記憶するプログラマブルなメモリを使用した装置である。また、移動距離の設定および表示も可能な1軸コントローラでもある。さらに、データは、モータのステップ角とボールネジ等のリードピッチを直接入力するため、正確な動作が可能となる。また、パソコンと接続して複数台を同時に制御できるため、幅広い用途に使用できる⁴⁾。

3.4 フライス盤とコントロールボックスの配線図

図6はフライス盤を動作させる配線図で、クロステーブル移動用(X軸, Y軸)の2個のモータ、フライスモータ上下移動用(Z軸)の1個のモータと穴開け用モータ、磁気センサー、4接点リレー1個、1接点リレー3個、モータドライバー2個、PCコントローラ、5V、12V、24Vの電源で構成されている。図7は、フライス盤とコントロールボックスの模式図を示している。モータ1はクロステーブルをX軸方向、モータ2は、クロステーブルをY軸方向、モータ3は、フライスモータを上下方向に移動させるために使用した。X、Y軸のモータの切替は、モータドライバー出力を4接点リレーで切替えることで行っている。4接点リレーは、一つの入力信号で4個の接点を同時に切替えることができるリレーで24Vで動作する。リレー切替の信号は、PCコントローラの9番ピンから出力され、出力ONで、X軸からY軸に切替えることができる。X軸、Y軸からZ軸への切替は、PCコントローラから出たクロックとアップダウンを1接点リレー1とリレー2で切替えることで制御する。リレー1とリレー2は、1接点リレーで一つの入力信号で1個の接点を切替えることができるリレーで12Vで動作する。リレー切替の信号は、PCコントローラの10番ピンから出力され、出力ONで、X軸、Y軸からZ軸に切替えることができる。穴開け用のモータは、リレー3で制御する。PCコントローラの12番ピンの出力がONの場合モータは回転する。クロステーブル上に埋め込んである磁気センサーは、PCコントローラの入力1番ピンとグラウンド8番ピンに接続されており磁石が接近するとONになる。

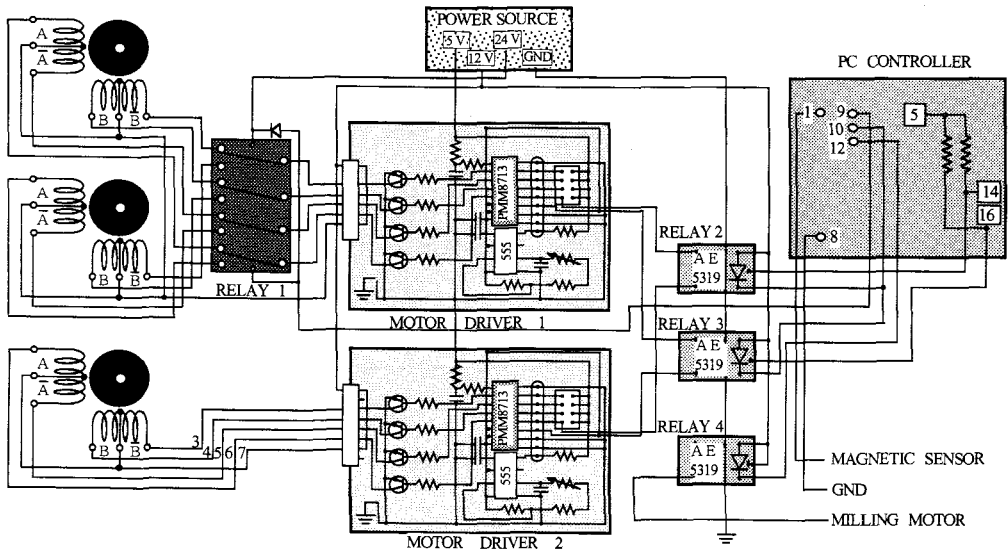


図6 コントロールボックスの配線図

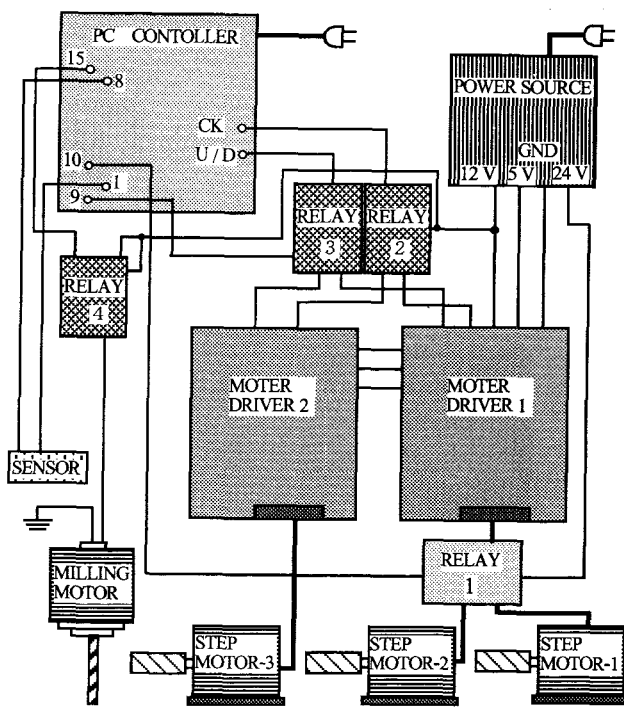


図7 スライス盤とコントロールボックスの構成図

3.5 アームロボット

アームロボットは、所定の位置にある物体をフライス盤のクロステーブル上に移送するため使用した。アームロボットの動作は、ウエスト、ショルダー、エルボ、ハンドの各部分に取り付けられたモータをアセンブラによってプログラムし、それをROM化することにより動作させた。

3.6 ROMライター

パソコンで作成したアセンブラによるプログラムは、マシン語に変換後、市販のROMライターを使用しROM化した⁶⁾。プログラムをROM化すると、PC-G813の電源をONにしてプログラムの記憶番地を入力するだけで、アームロボットが動作できるようになることと、ROMを取り替えることにより別の動作も容易に行えることなどのメリットがある。ROM化の手順を以下に述べる。

1. アセンブラでプログラムを作成し、マシン語に変換する。
2. マシン語に変換されたプログラムをROMライター中のRAMに転送する。
3. ROMライター中のRAMから焼きつけ用のROMにプログラムを転送しそれを焼きつける。

ここで使用したROMは、27256で0000H番地から7FFFH番地まで使用でき、32Kバイトの容量がある。ROMは一度プログラムを焼きつけると、新たなプログラムの追加や変更などは前のプログラムを消さない限り使用できない。このため、使用済みのROMは、紫外線消去型のROMイレサを使用してデータを消去した。図8にROM化の手順について示す。

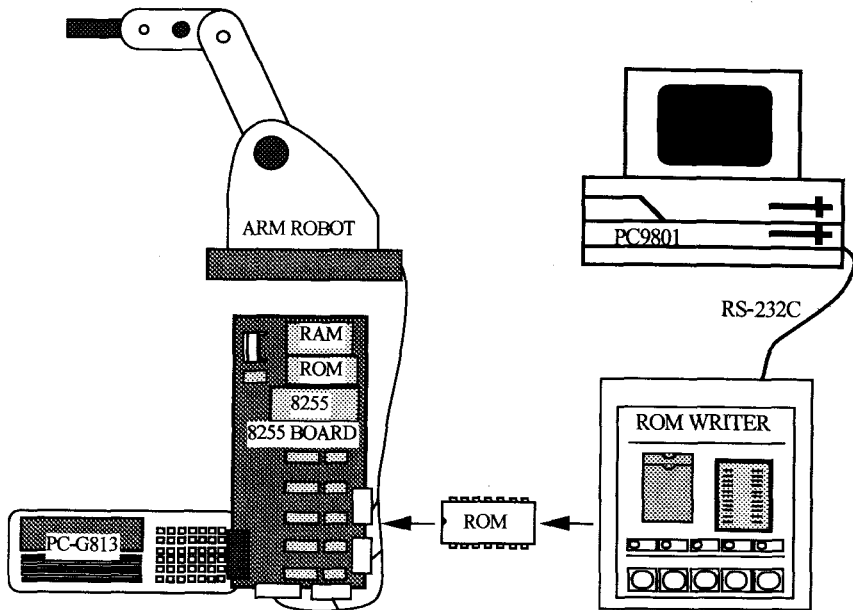


図8 ROM化の手順

3.7 8255 I/O ボード

8255は、8ビットのポートA, B, Cを三つ持っている。これらのポートは、8255を動作させるモードにより、入力ポートにも出力ポートにも変更できる。この入出力を決定するために、コントロールレジスタがある。この各ポートとコントロールレジスタのアドレスは、それぞれ20H, 21H, 22H, 23Hとなっている。一般の入出力はモード0, 割り込みの関係した入出力はモード1, マルチCPUなどの双方向性I/Oはモード2で行われる。アームロボットを動作させるため、8255ボードのBポートおよびCポートの上位4ビットを使用した⁽⁶⁾。

§4 ソフトウェアの構成

フライス盤の制御には、PCコントローラを使用した。PCコントローラを使用すると、所定の動作を行うプログラムが簡単に作成できるため、プログラムの作成に要する時間が大幅に短縮されることやRS-232Cケーブルを介してパソコンと接続してプログラムを作成することができる。また、モータに作用する負荷の状態により、モータを動作させるクロックを変更してモータの回転数を変更することができる。アームロボットの制御は、PC-G813で行った⁽⁷⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾。PC-G813を使用して機器を制御する場合、使用するインターフェイスの違いにより、二通りの方法がある。一つは、PC-G813に内蔵のシステムバスを使用して外部機器に対する入出力制御を行う方法で、マシン語を使用する。もう一つは、I/Oポートを使用して機器に対する入出力制御を行う方法で、BASIC言語を使用する。ここでは、前者を使用して機器の入出力制御を行う方法を使用した。

4.1 動作プログラム例

アームロボットが物体を運ぶ動作状態を図9に、図中の番号は動作順序を示す。以下にその動作内容を示す。

1. ハンドを開きながらアームを降す。
2. 物体をつかんで物体をクロステーブル上に載せた後、ホームポジションに戻る。
3. タイマで物体の加工終了を待つ。
4. フライス盤が物体の加工を終了後、アームロボットはその物体をつかみもとの位置に戻す。

図10(a)は、アームロボットがホームポジションにあるときのショルダー、エルボおよびハンドの角度を示している。物体をつかむ場合、アームロボットはショルダー、エルボおよびハンドの角度を図10(b)に示すように曲げる必要がある。この状態におけるショルダー、エルボおよびハンドの角度を図10(a)に示した角度と比較して、何度の角度差になったかを求め、求めた角度をステップ数に変換した後、モータの動作ステップ角とした。図11は動作プログラム例のチャート図を、表1はアームロボットを動作させるためのプログラムを示す。

次に、フライス盤によって、物体に穴をあけることを想定しプログラムを作成する。図12は、物体に穴をあける位置とフライス盤の動作順序を示す。表2は、PCコントローラのパラメータを示す。表3はクロステーブルの移動、ドリルの上下移動およびモータの回転等のプログラムを、表4は、物体の受けとりや引渡しをする位置にクロステーブルを移動させるプログラムを示している。

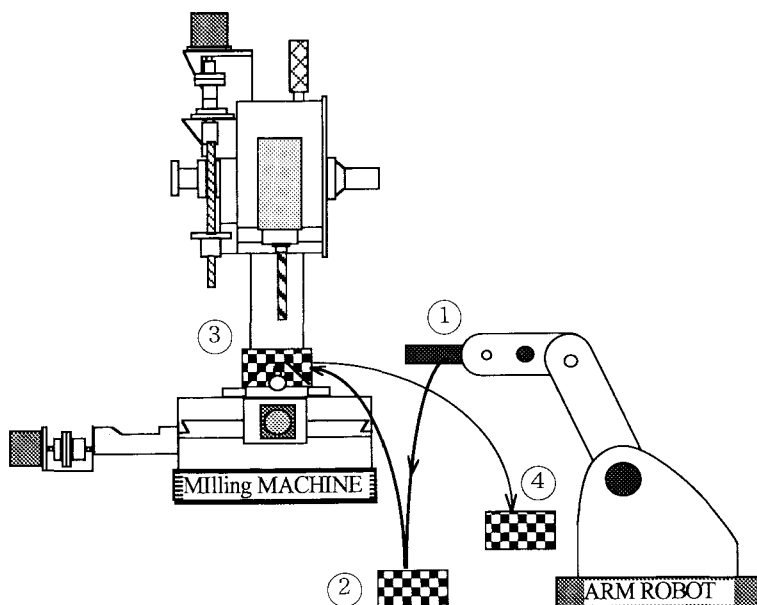
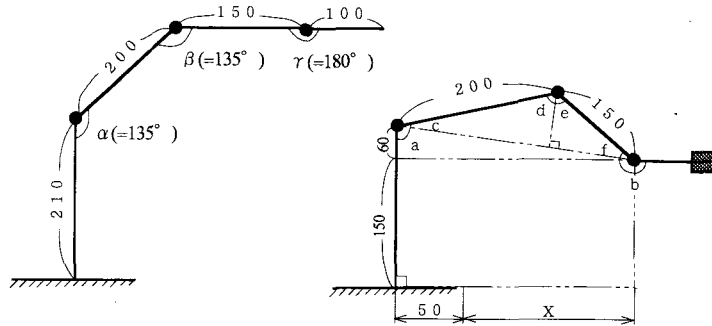


図9 アームロボットの動作状態



(a) ホームポジションでの角度 (b) 物体を置く位置での角度

図10 角度の計算図

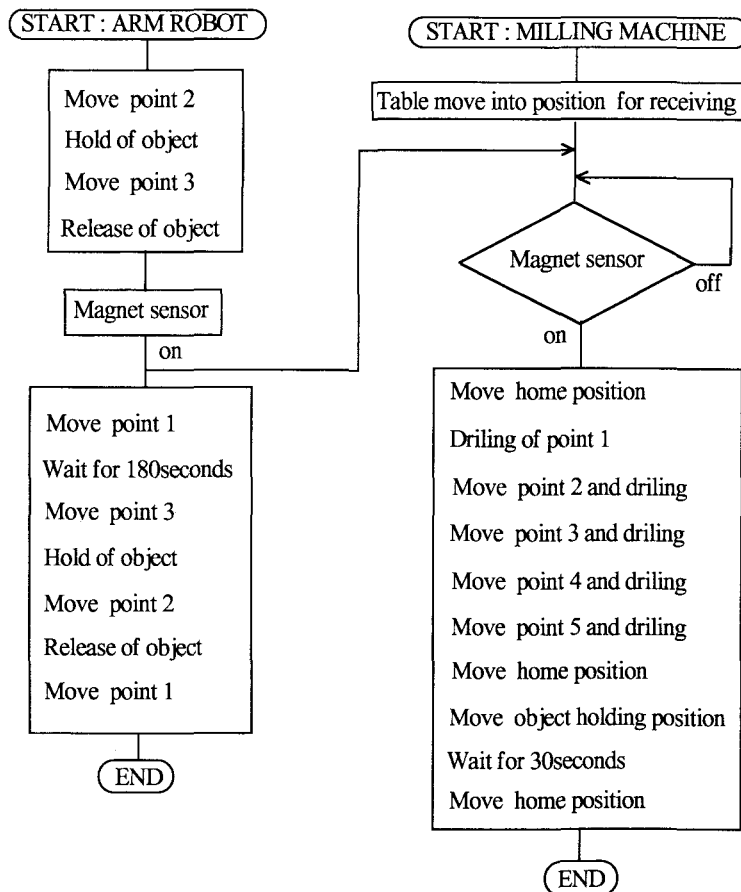


図11 チャート図

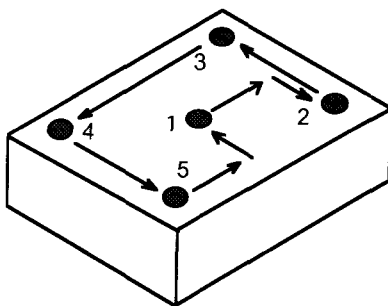


図12 物体に穴をあける位置と動作順序

表1 アームロボットの動作プログラム

No	ラベル	命令	オペランド	コメント
1		LD	A, 91H	CWのセット
2		OUT	(23H), A	Aポート入力、BとCポート出力
3		LD	A, 00H	00HをAレジスタに入れる
4		OUT	(22H), A	AをCポートに出力する
5	J1	LD	HL, 8000H	データを8000Hから読む
6	J2	IN	A, (1FH)	Breakを押せばJ3へ飛ぶ
7		BIT	7, A	"
8		JP	NZ, J3	"
9		IN	A, (22H)	"
10		BIT	5, A	"
11		JP	NZ, J2	"
12		LD	A, (HL)	HLのデータをAレジスタに入れる
13		OUT	(21H), A	BポートにAを出力する
14		NOP		
15		NOP		
16		NOP		
17		LD	A, 80H	80HをAレジスタに入れる
18		OUT	(22H), A	"
19		NOP		
20		NOP		
21		NOP		
22		NOP		
23		NOP		
24		LD	A, 00H	00HをAレジスタに入れる
25		OUT	(22H), A	"
26		INC	HL	HL = HL + 1
27		LD	A, (HL)	A = HLのデータ
28		DB	0FFH	結果はフラグレジスタにセットする
29		RST	38H	"
30		JP	NZ, J2	0でなければJ2へ飛ぶ
31		JP	J1	J1へ飛ぶ
32	J3	LD	A, 9BH	9BHをAレジスタに入れる
33		OUT	(23H), A	"
34		RET		戻る

表2 PCコントローラのパラメータ

パラメータ	データ	パラメータ	データ
少数点位置	2	起動時パルスレート (2)	1
リードピッチ	2.00	高速時パルスレート (2)	6
ステップ角	0.72	SLOOP (2)	2
表示オフセット	0.00	起動時パルスレート (3)	1
出力選択方式	1	高速時パルスレート (3)	6
ソフトリミット1	-1999.99	SLOOP (3)	2
ソフトリミット2	9999.99		
起動時パルスレート (1)	1	出力形態	0
高速時パルスレート (1)	6	モードセレクト	0
SLOOP (1)	2	原点だし方向	0

表3 物体の加工時のプログラム

行	コマンド	動作内容	行	コマンド	動作内容
1-00	ORG 1	仮想原点に行く	1-34	FUN303	出力4 OFF
1-01	FUN203	出力4 ON	1-35	TIM1.0	1秒待つ
1-02	TIM 1.0	1秒待つ	1-36	+36.7	+36.7パルスを出す
1-03	FUN201	出力2 ON	1-37	TIM1.0	1秒待つ
1-04	-20	-20パルスを出す	1-38	FUN203	出力4 ON
1-05	TIM 2.0	2秒待つ	1-39	FUN201	出力4 ON
1-06	+4.0	+4パルスを出す	1-40	-40	-20パルスを出す
1-07	FUN301	出力2 OFF	1-41	TIM1.0	1秒待つ
1-08	FUN303	出力4 OFF	1-42	+40	-20パルスを出す
1-09	TIM1.0	1秒待つ	1-43	FUN301	出力4 OFF
1-10	-19.2	-19.2パルスを出す	1-44	FUN303	出力4 OFF
1-11	TIM1.0	1秒待つ	1-45	TIM1.0	1秒待つ
1-12	FUN200	出力1 ON	1-46	FUN200	出力4 ON
1-13	25.1	25.1パルスを出す	1-47	+51.8	-20パルスを出す
1-14	TIM1.0	1秒待つ	1-48	FUN300	出力4 OFF
1-15	FUN300	出力1 OFF	1-49	TIM1.0	1秒待つ
1-16	FUN203	出力4 OFF	1-50	FUN203	出力4 ON
1-17	FUN201	出力2 ON	1-51	FUN201	出力4 ON
1-18	-4.0	-4パルスを出す	1-52	-4.0	-20パルスを出す
1-19	TIM2.0	2秒待つ	1-53	TIM1.0	1秒待つ
1-20	+4.0	+4パルスを出す	1-54	+4.0	+4パルスを出す
1-21	FUN301	出力2 OFF	1-55	FUN301	出力4 OFF
1-22	FUN303	出力4 OFF	1-56	FUN303	出力4 OFF
1-23	TIM1.0	1秒待つ	1-57	TIM1.0	1秒待つ
1-24	FUN200	出力1 ON	1-58	-17.5	-20パルスを出す
1-25	-50	-50パルスを出す	1-59	TIM1.0	1秒待つ
1-26	FUN300	出力1 OFF	1-60	FUN200	出力4 ON
1-27	TIM1.0	1秒待つ	1-61	-28.4	-20パルスを出す
1-28	FUN203	出力4 ON	1-62	FUN300	出力4 OFF
1-29	FUN201	出力2 ON	1-63	TIM1.0	1秒待つ
1-30	-40	-40パルスを出す	1-64	FUN201	出力4 ON
1-31	TIM2.0	2秒待つ	1-65	+8.0	-20パルスを出す
1-32	+4.0	+4パルスを出す	1-66	FUN301	出力4 OFF
1-33	FUN301	出力2 OFF	1-67	TIM1.0	1秒待つ

表4 クロステーブルの移動プログラム

行	コマンド	動作内容	行	コマンド	動作内容
2-00	ORG 1	仮想原点に行く	2-18	-4.0	-4 パルスを出す
2-01	-20	-20パルスを出す	2-19	FUN300	出力1 OFF
2-02	TIM1.0	1秒待つ	2-20	G1-00	バンク1-00に行く
2-03	FUN200	出力1 ON	3-00	ORG1	仮想原点に行く
2-04	-20	-20パルスを出す	3-01	30.0	+30.0パルスを出す
2-05	FUN300	出力1 OFF	3-02	TIM1.0	1秒待つ
2-06	TIM1.0	1秒待つ	3-03	FUN200	出力1 ON
2-07	FUN200	出力1 ON	3-04	25.1	+25.1 パルスを出す
2-08	TIM1.0	1秒待つ	3-05	FUN300	出力1 OFF
2-09	25.1	+25.1パルスを出す	3-06	TIM1.0	1秒待つ
2-10	TIM1.0	1秒待つ	3-07	TIM35.0	35.0秒待つ
2-11	FUN200	出力1 ON	3-08	-30.0	-30.0 パルスを出す
2-12	25.1	+25.1パルスを出す	3-09	TIM1.0	1秒待つ
2-13	FUN300	出力1 OFF	3-10	FUN200	出力1 ON
2-14	TIM1.0	1秒待つ	3-11	25.1	+25.1パルスを出す
2-15	25.1	+25.1パルスを出す	3-12	FUN300	出力1 OFF
2-16	TIM1.0	1秒待つ	3-13	END	終る
2-17	FUN200	出力1 ON			

§ 5 結言

フライス盤とアームロボットを連動させ、制御した結果についてまとめると以下ようになる。

1. クロステーブル用、フライスモータ上下用のモータを交換し、これらを制御する回路を新しく設計した結果、動作性能の良いマイクロフライス盤に改良することができた。
2. フライス盤とアームロボットを連動させ、プログラムによってお互いを制御をさせることが可能となった。
3. アセンブラを用いてプログラムをROM化しアームロボットを制御することができた。

最後に、本研究は、田尾およびザイル両氏の卒業研究として行われたことを付記し、両氏に感謝します。

参考文献

- (1) 野原，モータコントローラによるマイクロフライス盤の制御，呉高専研究報告，28-1 (1992)，105
- (2) 野原，モータコントローラによる自動倉庫の制御，呉高専研究報告，29-1 (1993)，41
- (3) 野原，モータコントローラによる直交座標ロボットの制御，呉高専研究報告，30-1 (1994)，41
- (4) ㈱ミニパイロ電機，ステッピングモータコントローラ取扱説明書
- (5) ㈱太平洋工業，PZ-W2ROM ライタ取扱説明書
- (6) ㈱太平洋工業，8255ボード取扱説明書
- (7) 野原，マイクロコンピュータによる天井クレーンの制御，呉高専研究報告，27-1 (1991)，11
- (8) 野原，マイクロコンピュータによる物体の移動システム，呉高専研究報告，30-1 (1994)，29
- (9) 野原，マイクロコンピュータによる搬送ロボットの制御，呉高専研究報告，31-1 (1995)，23
- (10) ㈱シャープ，ポケットコンピュータ (PC-G803) 取扱説明書

(平成8年4月15日受付)

銅放電プラズマの発光スペクトル

(電気工学科) 山 崎 勉

Emission Spectra of a Copper Discharge Plasma

Tsutomu YAMAZAKI

Theoretical investigation of population densities and emission spectra of a copper discharge plasma is presented. Calculation were carried out with 46 excited states and ionized state under the condition of sufficiently supplied copper atoms and Maxwellian energy distribution for electrons. Using Born cross section for electron impact excitation and ionization, radiative transition probabilities from the Bates & Damgaard approximation and some experimental references, and transport coefficients of copper atom in argon buffer gas, emission spectra were obtained and compared with experimental data measured in the copper hollow cathode discharge. It is showed that assumed cross sections for $4p'$ and $4p''$ were underestimated and others to the contrary. And in order to establish the excitation system of a copper plasma it is required the closest attention to the experimental and calculating assumptions.

Key Words: plasma simulation, copper discharge, population density,
electron collision cross section

プラズマシミュレーション, 銅放電, 占有密度, 電子衝突断面積

§1 まえがき

銅原子の発光が現れる放電といえば銅電極を用いた開閉器での接点アーク放電を思いつく。グロー放電でも銅冷陰極に大きな放電電流を流すとスパッタリングにより発生した陰極材料である銅の発光が陰極降下領域に観測される。これを利用して銅蒸気レーザが実用化されている。⁽¹⁾ ところで銅ホロー陰極放電の特性については実験によりその電圧電流特性や吸収法による陰極中心部の銅原子密度測定を行ってきた。^(2,3) しかし銅に関する衝突断面積や各種の輸送係数の実験データが見当たらないためその放電特性の計算は行えなかった。本報告は銅原子の電子衝突励起断面積や自然放射の遷移確率の値を推定し、それを基に銅放電の発光スペクトル強度分布の計算を行いその測定結果と比較し、推定結果について検討した。

§2 銅放電モデル

2.1 銅中性原子の励起準位⁽⁴⁾

銅は基底状態で $4s$ 電子が最外殻に一つありその内側は $3d$ 電子まですべて詰まっている。励起状

態は4s電子によるほかに3d電子の励起が可能である。その内8s準位以下の準位を対象として考えると5sから8s、4pから7p、4dから6d、4fと5fおよび3d電子が励起した4s', 4p, 4p', 4p"の16種類の励起状態がある。電離した銅は一価のイオンのみ考えるが4s電子が電離した場合がイオンの基底準位で3d電子の場合は励起状態で準安定準位となるがここではその区別はしない。ここで考慮した銅原子準位を表1. に示す。また、エネルギー準位の配置を図1. に示す。

表1 銅の励起状態の分類

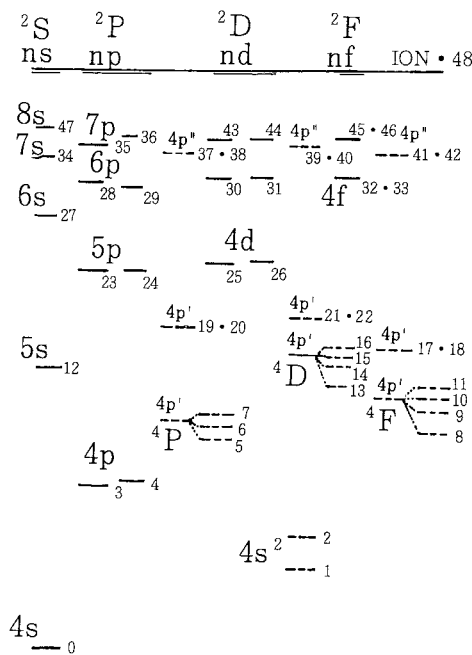


図1 銅のエネルギー準位モデル
線(準位)の右の数値は表1の
番号に対応する。

$L = \sum l$, $S = \sum s$, $J = L + S$
4s' : 3d⁹ - 4s² metastable
4p' : 3d⁹ - 4s¹ (core S = 1) - 4p¹
4p" : 3d⁹ - 4s¹ (core S = 0) - 4p¹

番号	原子(電子)状態			エネルギー[cm ⁻¹]
0	4s	L=0	S=1/2 J=1/2	0 ground
1	4s'	2	1/2 5/2	11202.56
2	4s'	2	1/2 3/2	13245.42
3	4p	1	1/2 1/2	30535.30
4	4p	1	1/2 3/2	30783.69
5	4p'	1	3/2 5/2	39018.65
6	4p'	1	3/2 3/2	40114.00
7	4p'	1	3/2 1/2	40943.70
8	4p'	3	3/2 9/2	40909.14
9	4p'	3	3/2 7/2	41153.43
10	4p'	3	3/2 5/2	41562.89
11	4p'	3	3/2 3/2	42302.50
12	5s	0	1/2 1/2	43137.21
13	4p'	2	3/2 7/2	43513.96
14	4p'	2	3/2 5/2	44406.26
15	4p'	2	3/2 3/2	44544.12
16	4p'	2	3/2 1/2	44915.62
17	4p'	3	1/2 7/2	43726.22
18	4p'	3	1/2 5/2	44963.25
19	4p'	1	1/2 1/2	45821.70
20	4p'	1	1/2 3/2	45879.32
21	4p'	2	1/2 3/2	46172.80
22	4p'	2	1/2 5/2	46598.30
23	5p	1	1/2 3/2	49383.26
24	5p	1	1/2 1/2	49382.92
25	4d	2	1/2 3/2	49935.20
26	4d	2	1/2 5/2	49942.06
27	6s	0	1/2 1/2	52845.10
28	6p	1	1/2 3/2	54784.00
29	6p	1	1/2 1/2	55027.90
30	5d	2	1/2 3/2	55387.63
31	5d	2	1/2 5/2	55391.30
32	4f	3	1/2 5/2	55426.30
33	4f	3	1/2 7/2	55426.35
34	7s	0	1/2 1/2	56668.10
35	7p	1	1/2 1/2	57418.20
36	7p	1	1/2 3/2	57966.70
37	4p"	1	1/2 3/2	56343.80
38	4p"	1	1/2 1/2	58364.80
39	4p"	2	1/2 5/2	56651.60
40	4p"	2	1/2 3/2	58691.00
41	4p"	3	1/2 7/2	56030.10
42	4p"	3	1/2 5/2	58119.40
43	6d	2	1/2 3/2	57894.10
44	6d	2	1/2 5/2	57894.15
45	5f	3	1/2 5/2	57910.20
46	5f	3	1/2 7/2	57910.25
47	8s	0	1/2 1/2	58571.60
48	Cu+	0	0 0	62317.40

2.2 衝突断面積

電子衝突励起断面積は理論式、ベーテ・ダムガード近似の波動関数で計算したボルン断面積を利用した。⁽⁵⁾ その電子エネルギー (U) 依存性はスピンの変化 $\Delta S=0/1$ と光電子の方位量子数の変化 κ ($=\Delta L$) $=1$ /それ以外であるかにより異なっている。各衝突の逆過程は詳細釣り合いの定理により導出した。すなわち準位 j から k への電子衝突励起の衝突断面積を $\sigma(j, k; U)$ とする時その逆過程の衝突断面積は次のようになる。

$$\sigma(k, j; U) = (g_j/g_k) (U + \Delta E) \sigma(j, k; U + \Delta E) / U$$

ΔE は励起エネルギー閾値 $g_j = 2 \cdot J + 1$ は準位 j の統計重率

さて準位 o (エネルギー E_o , 方位量子数 l_o , スピン量子数 S_o) から i (E_i, l_i, S_i) への遷移に対する電子衝突励起断面積を $\sigma(o, i)$ とする。

ここで $\Delta E = E_i - E_o$, $\kappa = |l_o - l_i|, |l_o - l_i| + 2, \dots, l_o - l_i$, $\Delta S = |S_o - S_i|$

$$\sigma(o, i) = \pi a_0^2 (Ry/\Delta E)^2 (E_i/E_o)^{3/2} \sum Q \kappa(u) / (2 \cdot l_o + 1) \cdot \Phi \kappa(u)$$

a_0 ボーア半径 $Ry = 13.606$ [eV] リードベリ定数 $u = (U - \Delta E)/\Delta E$ 電子エネルギー U [eV]

$\Delta S = 0$ の場合

$$\Phi \kappa(u) = C(u/(u+1))^{1/2} / (u + \phi) \quad \kappa \neq 0$$

$$\Phi \kappa(u) = C(u/(u+1))^{1/2} \ln(16+u) / (u + \phi) \quad \kappa = 1$$

$\Delta S = 1$ の場合

$$\Phi \kappa(u) = C(u/(u+1))^{1/2} / (u + \phi) / (u+1)$$

電離衝突に対しては次式で表される。

$$\sigma(o, i) = \pi a_0^2 (Ry/E_o)^2 Q_i(o, i) \Phi i(u) / (2 \cdot l_o + 1)$$

$$\Phi i(u) = C(u/(u+1))^{3/2} / (u + \phi) \quad \text{ionization}$$

最外殻 $4s$ 電子が励起される場合 ($s-s$, $s-p$, $s-d$, $p-s$, $p-p$, $p-d$, $d-s$, $d-p$ 遷移) の C と ϕ は文献 [5] の Tab. 6.2 より内挿して求めた。これら以外の遷移については同文献にあったよく似た遷移の値を参考に推定した。Tab. 6.4, Tab. 6.5, Tab. 6.7, Tab. 6.11 より各遷移に対し次の数値を利用した。

銅の遷移	参考にした値
$s-f$ $p-f$ $d-f$	H I, H II, Ne X
$d-d$	H I, He II, Ne X, Ba II
$3d-4s$	Rb I, Cs I, Ba II
$3d-4p'$, $4p''$	Rb I, Ba II, H I, He II, Hg I
$4s^2-4p'$ (quartet)	Ca I, Zn I, Ga II, Sr I, Cd II, Hg I
電離 ($4s^1$)	K I, Rb I, Cs I ($4s^2$) Be I, B I, Ca I, Mg I

その結果として C と ϕ を表 2. -a, b, c にまた Q_k と κ の値を表 2. -d に示す。横方向に遷移の下準位を縦方向に上準位を示している。

電子衝突励起は一回の衝突で遷移する場合のみ考えた。図 2. に今回考慮した電子衝突励起の関係を示す。基底準位からは電離を含む全ての準位、準安定準位からは $4p'$, $4p''$ と電離、 $4p$ からはそれ以上の s , p , d , f の準位と $4p'$, $4p''$ および電離である。 $5s$ 以上の p , d , f の各準位では $4p''$ を除く上位準位への遷移のみ考え、 $4p'$ や $4p''$ は電離衝突のみとし、全角運動量 J のみ異なる準位間の遷移は考えていない。

表 2-a 衝突断面積の係数Cと ϕ 4s, 4p, 5s, 5pからの電子衝突励起

		4sg		4sm		4p		5s		5p	
		C	ϕ	C	ϕ	C	ϕ	C	ϕ	C	ϕ
1	4sm	.15	1.2	—	—	—	—	—	—	—	—
2	4sm	.10	1.2	—	—	—	—	—	—	—	—
3	4p	3.4	2.43	—	—	—	—	—	—	—	—
4	4p	6.8	2.45	—	—	—	—	—	—	—	—
5	4p'	.080	2.2	5.1	4.72	.0099	.6	—	—	—	—
6	4p'	.053	2.2	3.4	4.72	.0066	.6	—	—	—	—
7	4p'	.027	2.2	1.7	4.72	.0033	.6	—	—	—	—
8	4p'	.057	2.2	3.9	4.72	.0072	.6	—	—	—	—
9	4p'	.046	2.2	2.9	4.72	.0057	.6	—	—	—	—
10	4p'	.034	2.2	2.2	4.72	.0043	.6	—	—	—	—
11	4p'	.023	2.2	1.4	4.72	.0029	.6	—	—	—	—
12	5s	1.81	1.07	—	—	3.39	3.61	—	—	—	—
13	4p'	.064	2.2	4.1	4.72	.008	.6	—	—	—	—
14	4p'	.048	2.2	3.5	4.72	.006	.6	—	—	—	—
15	4p'	.032	2.2	2.3	4.72	.004	.6	—	—	—	—
16	4p'	.016	2.2	1.1	4.72	.002	.6	—	—	—	—
17	4p'	.686	3.6	4.4	6.6	.0086	.6	—	—	—	—
18	4p'	.914	3.6	5.8	6.6	.0114	.6	—	—	—	—
19	4p'	1.066	3.6	3.4	6.6	.0067	.6	—	—	—	—
20	4p'	.533	3.6	6.8	6.6	.0133	.6	—	—	—	—
21	4p'	.64	3.6	4.1	6.6	.008	.6	—	—	—	—
22	4p'	.96	3.6	6.1	6.6	.012	.6	—	—	—	—
23	5p	1.36	.48	—	—	3.54	1.04	6.64	3.62	—	—
24	5p	.68	.48	—	—	1.77	1.04	3.32	3.62	—	—
25	4d	2.38	1.39	—	—	10.0	4.73	1.81	.787	32.0	5.8
26	4d	3.58	1.39	—	—	15.1	4.73	2.71	.788	48.0	5.8
27	6s	1.34	1.02	—	—	.98	1.75	2.36	.99	5.45	4.43
28	6p	1.05	.18	—	—	2.74	.84	.62	.296	6.22	1.28
29	6p	.60	.30	—	—	1.37	.84	.31	.155	3.11	1.09
30	5d	1.8	1.23	—	—	5.16	3.53	.392	1.28	4.9	10.0
31	5d	2.7	1.23	—	—	7.74	3.53	.588	1.26	7.4	10.0
32	4f	1.6	.65	—	—	9.9	2.1	.249	.455	14.7	1.4
33	4f	1.8	.65	—	—	13.1	2.1	.498	.455	19.3	1.4
34	7s	1.19	.96	—	—	.731	1.63	1.35	.905	1.09	1.72
35	7p	.59	2.07	—	—	1.46	.65	.335	.449	3.66	.77
36	7p	2.33	.25	—	—	2.92	.65	1.549	1.196	1.83	1.48
37	4p"	1.066	3.6	6.8	4.72	.0133	.6	—	—	—	—
38	4p"	.533	3.6	3.4	4.72	.0067	.6	—	—	—	—
39	4p"	.96	3.6	6.1	4.72	.012	.6	—	—	—	—
40	4p"	.64	3.6	4.1	4.72	.008	.6	—	—	—	—
41	4p"	.914	3.6	5.8	4.72	.0114	.6	—	—	—	—
42	4p"	.686	3.6	4.4	4.72	.0086	.6	—	—	—	—
43	6d	2.88	1.24	—	—	3.33	3.19	.62	1.52	2.37	7.42
44	6d	1.44	1.19	—	—	6.66	3.14	.31	1.52	4.75	7.42
45	5f	.824	1.3	—	—	4.93	1.05	1.74	.91	3.0	.5
46	5f	1.096	1.3	—	—	6.57	1.05	1.16	.91	2.4	.5
47	8s	1.14	.96	—	—	.635	1.55	1.09	1.02	.723	1.40
48	Cu+	5.5	1.0	5.4	.9	16.0	1.3	5.0	.8	14.0	1.1

表 2-b 衝突断面積の係数Cと ϕ 4d, 6s, 5d, 4f からの電子衝突励起

		4d		6s		6p		5d		4f	
		C	ϕ	C	ϕ	C	ϕ	C	ϕ	C	ϕ
27	6s	.86	.87	—	—	—	—	—	—	—	—
28	6p	1.086	5.18	6.6	4.33	—	—	—	—	—	—
29	6p	.543	7.15	3.3	3.83	—	—	—	—	—	—
30	5d	9.2	4.3	2.16	.963	5.46	1.58	—	—	—	—
31	5d	13.8	4.3	3.24	.965	8.68	1.91	—	—	—	—
32	4f	13.5	9.8	3.73	.31	21.0	1.0	21.0	6.9	—	—
33	4f	18.0	9.8	4.92	.31	28.0	1.0	28.0	6.9	—	—
34	7s	.313	.5	2.64	1.68	6.34	6.37	1.59	.99	.03	.12
35	7p	.27	4.33	.70	.10	4.0	1.30	1.6	11.0	.08	.16
36	7p	.54	.397	1.40	2.40	8.0	1.40	3.2	1.40	.12	.16
43	6d	4.86	2.2	.65	.68	6.94	16.2	46.0	8.6	3.2	.4
44	6d	2.43	2.2	.32	.68	4.46	12.7	23.0	8.6	2.4	.4
45	5f	6.84	4.9	7.46	.62	.45	.90	.3	1.4	.60	1.0
46	5f	8.86	4.9	9.94	.62	.60	.90	.4	1.4	.80	1.0
47	8s	.28	.14	1.26	1.32	1.30	2.60	.487	.52	.01	.10
48	Cu+	35.0	1.6	4.5	.64	12.0	.80	31.0	1.4	70.0	1.9

表 2-c 衝突断面積の係数Cと ϕ 7s, 7p, 6d, 5f, 8s からの電子衝突励起

		7s		7p		6d		5f		8s	
		C	ϕ	C	ϕ	C	ϕ	C	ϕ	C	ϕ
35	7p	3.36	3.81	—	—	—	—	—	—	—	—
36	7p	10.6	7.10	—	—	—	—	—	—	—	—
43	6d	4.0	1.14	10.2	3.05	—	—	—	—	—	—
44	6d	2.0	1.14	5.1	3.05	—	—	—	—	—	—
45	5f	.75	.9	20.0	1.5	100.0	2.0	—	—	—	—
46	5f	1.0	.9	10.0	1.5	130.0	2.0	—	—	—	—
47	8s	2.874	2.00	8.54	5.18	2.386	1.095	1.0	1.0	—	—
48	Cu+	4.0	.5	10.0	.65	28.0	.96	63.0	1.7	3.5	.4

表 2-d 衝突断面積の係数 $Q_{\kappa}/(2 \cdot l_0 + 1)$; $\kappa \Delta S = 0$ の場合

	上準位 ← 下準位	s	p	d	f
s	4s, 5s, 6s, 7s, 8s	1; 0	1/3; 1	1/5; 2	1/7; 3
p	4p, 5p, 6p, 7p	1; 1	1/3; 0	1/5; 1, 3	1/7; 2, 4
d	4d, 5d, 6d	1; 2	1/3; 1, 3	1/5; 0	1/7; 1, 3, 5
f	4f, 5f	1; 3	1/3; 2, 4	1/5; 1, 3, 5	1/7; 0

$4p'$, $4p''$ は $4p$ と同じとした $Q_{\kappa}/(2 \cdot l_0 + 1) = 1/3$

$4p'$ や $4p''$ からの遷移は電離 (Cu^+) のみ考え $C = 16.1$ $\phi = 1.3$ とする

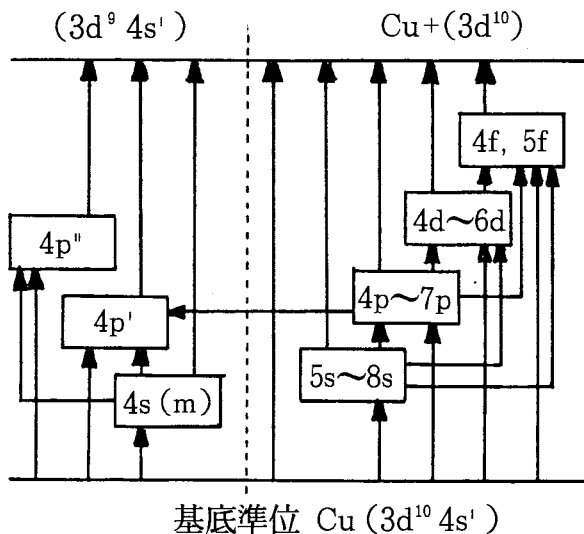


図 2 電子衝突による遷移の関係 電子衝突励起を実線で示し、点線より左側は $3d$ 電子が遷移し、右側は $4s$ 電子

2.3 遷移確率

自然放射の遷移確率は文献より得られた値⁽⁴⁾と理論式により求めた吸収振動子強度より計算した値を用いた。⁽⁶⁾ 電気双極子遷移 ($\Delta S = 0$, $\Delta J = \pm 1, 0$) の他に $\Delta S = 1$ の遷移もある。計算できない場合は既に得られている値を参考に推定した。⁽⁴⁾

i から o への遷移確率は次の式で表される。⁽⁶⁾ ($1e15 = 1 \times 10^{15}$ を表す)

$$W_k(i, o) = 6.6705e15 \cdot f_{oi} / \lambda / \lambda$$

2.4 占有密度の計算

銅放電プラズマは円筒形中空陰極内の負グロープラズマを想定した。アルゴンを緩衝気体としてグロー放電させると、銅陰極からスパッタリングで陰極を構成する材料の原子が放電空間内に放出されその発光が観測される。銅の密度はアルゴンに比べ比較的小さいと考えられアルゴンと銅の原子間衝突などによる相互作用はないと仮定する。

プラズマ内の電子エネルギー分布関数は計算で求めるべきであるがそれは容易でないで、ここではマックスウェル分布を利用した。⁽⁷⁾ 銅放電内の電子密度の測定結果より計算範囲を決め、電子密度や電子温度を変えて銅の占有密度分布を求めることとした。⁽⁸⁾

レート方程式に現れる電子輸送係数の計算は電子エネルギー分布関数を用い数値積分により求めた。電子密度 N_e と電子温度 kT [eV] をパラメータにして占有密度分布を計算した。電子衝突や自然放射による遷移と拡散による損失 (径方向は零次のベッセル関数, 軸方向は余弦関数の粒子密度分布) を考えた。準位 j の占有密度 N_j とすると、電子衝突による準位 i から j へ励起 ($i < j$) や逆励起 ($i > j$) と自然放射による光学遷移で j 準位になる場合と j 準位から i 準位へ移る場合を考えた。光の誘導吸収による遷移は考えていない。和 (Σ) は $i=0, 1, \dots, j-1, j+1, \dots, 48$ について行う。

$$dN_j/dt = \Sigma N_i < \sigma_{ij}(v) \cdot v > N_e + \Sigma A_{ij} \cdot N_i - \Sigma N_j < \sigma_{ji}(v) \cdot v > N_e - \Sigma A_{ji} \cdot N_j - N_j / \tau$$
 アルゴン気体内の中性銅原子や一価に電離した銅の正イオンの拡散係数は次のように推定した。アルゴン中のアルカリイオンの拡散係数 $DN=1.8$ (K) 1.58 (Rb) 1.45 (Cs) $\times 10^{18} \text{cm}^2/\text{s}$ より質量に注目して銅イオンの拡散係数を推定し $48/p$ at 300K ここで p [Torr] は緩衝気体アルゴンの気圧である。⁽⁹⁾ またアルゴン原子と Ne, Kr, Xe 等の希ガス中性原子の相互拡散係数を参考に、拡散係数が各粒子の換算質量の平方根に反比例し気体温度の平方根に比例するとした。 $104/p$ at 273⁽¹⁰⁾ 中性原子とイオンともに $144 \text{cm}^2/\text{s}$ 室温とした例もあるがここでは両者は異なるとした。⁽¹¹⁾

8s, 7p, 6d, 5f, 4p', 4p" 最上位の励起準位の光学遷移は下準位への遷移項のみ考え、その割合は Kramers の近似式を利用した。⁽⁶⁾ $A_j = A_0 \cdot \ln \{ (j^3 - j) / 2 \} / j^5$, $A_0 = 7.89e9$, $j = (R_y/E_j)^{1/2}$

§3 計算結果

電子温度 $kT=0.5\text{eV}$ から 5eV , 電子密度 $N_e=0.5e10/\text{cc}$ から $1.5e11/\text{cc}$ の範囲として計算した結果を以下に示す。その他の計算条件は、アルゴン気圧 36Pa, 気体温度 $T_g=500\text{K}$, 衝突項計算時のエネルギー刻み幅 $h=0.125\text{eV}$, 分布関数の最小値 $\exp(-43.21)$ である。48準位に対するレート方程式は電子密度をパラメータとして与えると連立一次方程式となる。定常状態とすると j 準位の占有密度は次の式で与えられる。

$$N_j = \{ \Sigma N_i < \sigma_{ij}(v) \cdot v > N_e + \Sigma A_{ij} \cdot N_i \} / \{ \Sigma < \sigma_{ji}(v) \cdot v > N_e + \Sigma A_{ji} + 1 / \tau \}$$

そこで $j=48$ から $j=0$ に向かって逐次代入する反復法で計算を進めた。図3. と図4. は単位体積単位時間当たりの衝突数の電子温度依存性である。基底準位と下側の準安定準位からの励起・電離衝突が示してある。基底準位からの直接励起では遷移する電子が4s電子の場合電子温度の増加とともに衝突数は増加している。3d電子が遷移して生じる準安定準位4sや四重項4p'への励起は2eVあたりまで増加しその後僅かずつ減少しているが二重項は衝突数が小さく電子温度の増加とともに増加している。上位にある4p"への励起はますます少なくなっている。準安定準位からの励起についても同じような傾向を示し、二重項から四重項に遷移する時は飽和現象が見られる。準安定準位から基底準位への遷移は電子温度の増加とともに衝突数は減少し、逆励起ではこの特性を持つことが知られている。

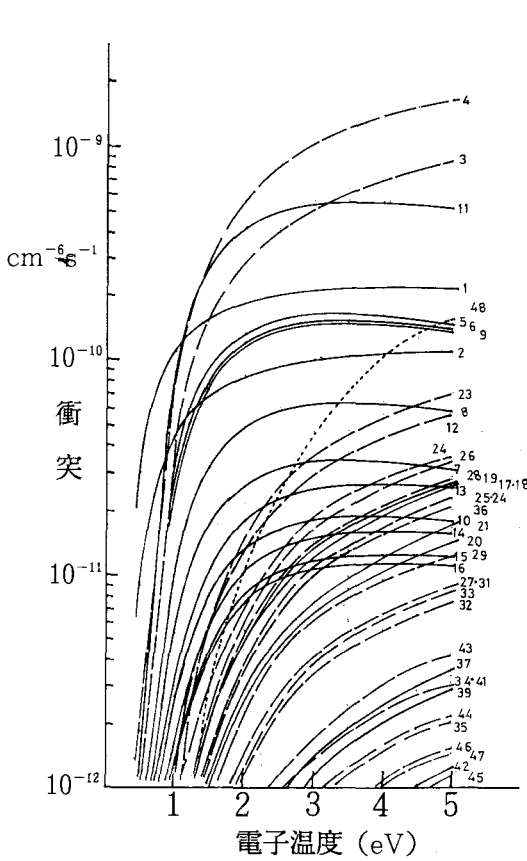


図3 電子衝突励起の割合 基底準位(0)から励起準位(j)への衝突励起の割合の電子温度依存性, 多重度が変化する場合には飽和または減少している。

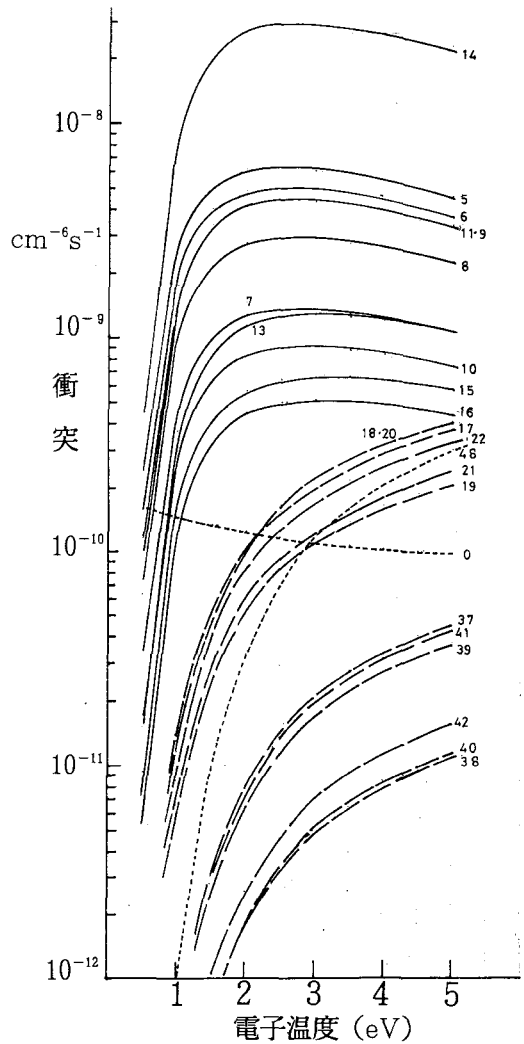


図4 電子衝突励起の割合
準安定準位($4s^2$, $^2D_{5/2}$)からj準位への衝突励起の割合の電子温度依存性, j=0の場合電子温度の増加により, 少しずつ減少している。

図5.と図6.は占有密度分布の電子密度依存性, 電子温度 $kT = 3 \text{ eV}$ の場合で, 占有密度は基底準位が最も多く, それより二桁少ない $4s$ 準安定準位があり, より上の準位は更に二桁少なくなっている(図6.).各準位とも電子密度の増加とともに増加していくが, $N_e = 5 \times 10^{10} / \text{cc}$ 辺りから増加が鈍り飽和傾向が見られる。この時, 銅原子は十分に供給され放電プラズマは平衡状態に達していると考えられる。銅原子のほとんどは基底状態にありその密度はおおよそ $2 \times 10^{10} / \text{cc}$ である ($N_e = 5 \times 10^{10}$)。準安定準位を除くと $4p'$ や $4p''$ の占有密度は $4s$ 電子のみが励起した状態のそれに比べ二桁程度小さくなっている。

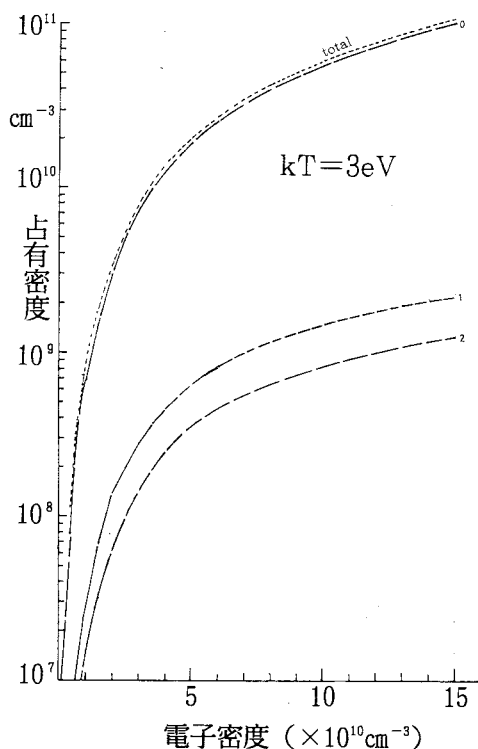


図5 占有密度の計算例 電子温度3eVで電子密度の増加に対し、基底準位 (0) と2つの準安定準位 $^2D_{5/2}(1)$ $^2D_{3/2}(2)$ とともに増加している。全銅原子密度の内ほとんどは基底準位にある。

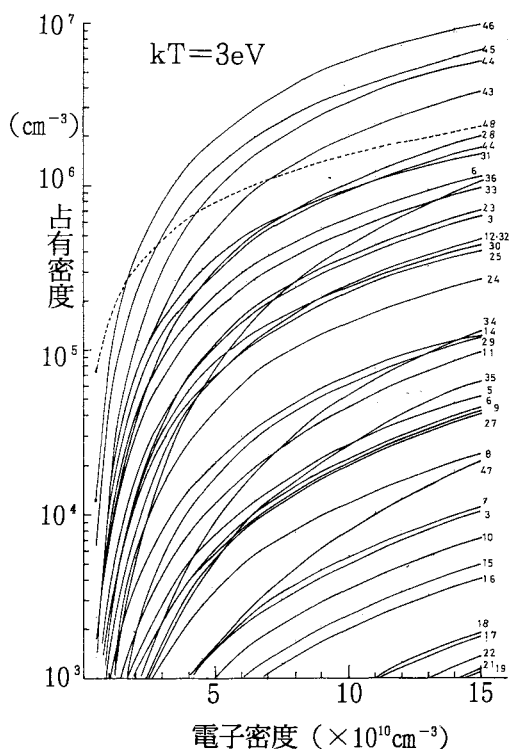


図6 占有密度の計算例 図5と同じ条件で4p以上の準位を示している。各密度は基底準位と準安定準位に比べ、2桁以上少ない。

図7. は占有密度分布電子密度依存性の電子温度による変化。基底準位と下側の準安定準位の占有密度について電子温度をパラメータとして表している。電子温度が高くなると密度は減少し、全銅原子に占める励起原子の量も少なくなっていく。準安定準位について詳しく見ると $Ne = 9 \times 10^{10}/cc$ を越えると $kT = 3 \text{ eV}$ の方が 5 eV の密度より小さくそれまでの電子密度の領域に対し逆転している。

図8. は発光スペクトル強度分布の計算結果と測定値との比較。測定は内径16mm ϕ 、長さ100mmの銅管を陰極とし、アルゴン36Paを緩衝気体としてホロー陰極グロー放電をした時のホロー陰極中心部の発光より得たものである。⁽²⁾ 放電電流100mA、平均放電電圧465V、銅のスペクトル線と思われる25本について図中にその相対強度を×印で記入した。内径19.4mm、長さ150mmのステンレスホロー陰極の中心軸付近でのラングミュアプローブで測定した結果によると、電子密度 $Ne = 1 \times 10^{10}/cc$ 、電子温度 $kT = 2.5 \text{ eV}$ であった。⁽⁸⁾ この電子密度での発光強度の計算値を○印で示すが、その内10本は計算値が小さすぎて図中に記入していない。計算結果によると電子温度が増加すると発光強度は減少していた。図中の計算値の幅は $kT = 0.5 \text{ eV}$ から 5.0 eV を示している。同定した25本の銅のスペクトル線の波長と発光強度を表4. に示す。電子温度計算値 $kT = 2.5 \text{ eV}$ 、電子密度 $Ne = 1 \times 10^{10}/cc$ 、計算値は単位時間当たり放出光子数 $1 \times 10^9 \text{ 個/s}$ を単位として相対強度で示してある。

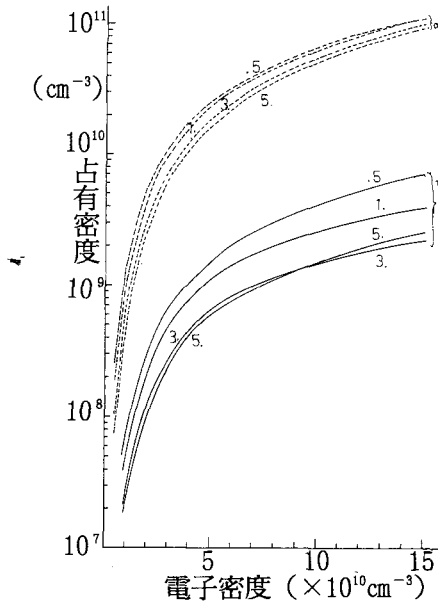


図7 電子温度による占有密度の変化
図中の数値は電子温度 (eV単位),
基底準位 (0) と下側の準安定準位
(1, $^2D_{5/2}$) の密度の電子密度依存
性, 電子温度が高くなると占有密
度は減少するが, 電子密度が高
くなると励起原子の数は多くなる。

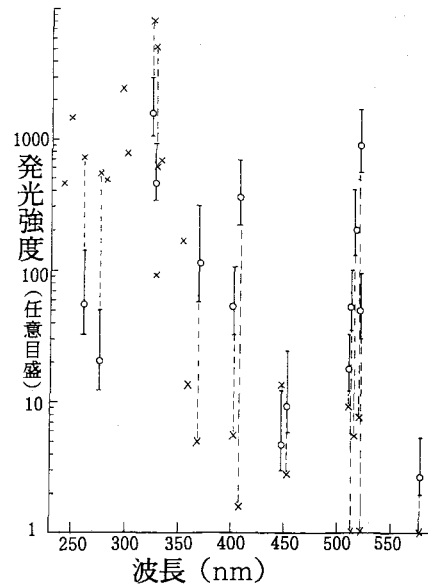


図8 銅のスペクトル線の波長と相対発光強
度の比較, 実験値 (X) と計算値 (O);
 $kT=2.5\text{eV}$ $N_e=1\times 10^{10}/\text{cc}$ 計算値
では, 電子温度が0.5eVから5.0eV増す
と発光強度は減少し, それに対応して
実線で表している。

表4 測定した銅の発光スペクトル線の波長と強度

波長 nm	測定値	遷移	計算値
244.16	448	7-0	.217
249.22	1426	6-0	.812
261.84	725	24-1	57
276.64	546	23-2	20.6
282.44	480	22-1	.035
296.12	2442	18-1	.046
301.08	779	14-1	.636
324.75	8050	4-0	1559
327.40	5200	3-0	462
327.98	624	17-2	.0045
329.28	92	10-1	.0218
333.78	692	9-1	.0444
353.04	168	10-2	.0095
359.40	13.5	5-1	.0171
368.77	5.0	44-4	113
402.20	5.6	30-3	52.7
406.26	1.6	31-4	355
448.11	13.3	27-3	4.66
453.15	2.8	27-4	9.12
510.55	9.0	4-1	17.2
515.14	0.9	26-3	54.1
515.32	5.3	25-3	210
521.82	7.6	26-4	904
522.01	1.0	25-4	47.8
578.21	1.0	3-2	2.69

実験値と計算値を比較すると次のことに気がつく。共鳴線324.75nmと327.40nmが最も強く現れ、510.55nmやいくつかの発光線については一桁の変化範囲内にあり、その相対強度の関係がほぼ合っている。3dまで電子が詰まっていて最外殻電子の遷移で生じたスペクトル線、図では波長が360nm以上の領域、は計算値が大きい。3d電子が関係している発光線は逆に測定値の方が大きく、波長が360nm以下の領域である。この原因として3d電子の励起が過少に評価され4s電子の励起が大きくなっていることが考えられる。このことは占有密度や衝突数の計算結果からも確かめられる。

今後の課題について簡単に述べる。推定した各種の定数を修正し、理論と実験の対応を高める必要がある。ここでは計算にマクスウェル分布を用いたが、プラズマ状態に近い銅アーク放電と比較する方がよい。ホロー陰極放電と比べるのであればその電子エネルギー分布関数を求め、占有密度や発光強度の計算をすべきであろう。また、共鳴線の捕捉効果、全角運動量Jのみが異なる準位間やここで省略した電子衝突遷移項の検討をすること。そして銅のエネルギー準位モデルを可能ならばもっと簡単にし自己矛盾のないレート方程式を解く方がよいと考えられる。一方、分光測定系は400nm以下の波長域で適当な光源がないため校正が不十分であり、測定値に不安が残る。

§ 4 まとめ

銅原子の電子衝突励起断面積や光学遷移確率の文献より求めた理論値を用いて銅放電プラズマの発光強度分布を計算し、ホロー陰極放電より得られた測定値と比較した。それによると3d電子の励起が過小に、逆に4s電子の励起は過大に評価された結果となった。ただしいくつかの仮定の基に計算や実験が行われているため、不十分な結果しか得られていない。計算と実験ともいっそうの改良が必要である。

参考文献

- (1) A. K. Anders & R. C. Tobin: J. Appl. Phys. vol. 64 (9) (1988) pp.4285-4292
- (2) 山崎 勉: 呉高専研究報告 vol.31-1 (1995) pp.43-49
- (3) 原田一彦, 山崎 勉: 広島電機大学・広島自動車工業短期大学研究報告 vol. 26 (1993) pp.115-122
- (4) A. A. Radzig & B. M. Smirnov: "Reference Data on Atoms, Molecules, and Ions" Springer-Verlag (1980) p.209
- (5) I. I. Sobelman, L. A. Vainshtein, E. A. Yukov: "Excitation of Atoms and Broadening of Spectral Lines" Springer-Verlag (1981) chapter6
- (6) Igor I. Sobelman: "Atomic Spectra and Radiative Transitions" Springer-Verlag (1979) chapter9
- (7) 山崎 勉: 呉高専研究報告 vol. 30-1 (1994) pp.55-72
- (8) 山崎 勉: 呉高専研究報告 vol. 30-2 (1995) pp.45-52
- (9) J. S. Chang, R. M. Hobson, 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) 第8章
- (10) K. S. Chapman and T. G. Cowling: "The Mathematical Theory of Non-uniform Gases" Cambridge (1970) 3rd ed. chapter 14 p.263
- (11) A. Bogaerts & R. Gijbels: J. Appl. Phys. vol. 79 (3) (1996) pp.1279-

(平成8年4月15日受付)

コンクリート表面における汚れ評価に及ぼす付着物質の影響

(環境都市工学科) 市坪 誠, 竹村和夫,
山口隆司, 小松孝二
(土木工学科23期生) 板垣竜太郎

Evaluation of Soiling of Concrete Surface due to Adhesive Substances

Makoto ICHITSUBO, Kazuo TAKEMURA,
Takashi YAMAGUCHI, Koji KOMATSU
Ryutaro ITAGAKI

Adsorption tests of soiling substances (planting foundations, alga, mold and exhaust) and evaluation tests on 200 mm sized square cement paste specimens were carried out, to evaluate the mechanism of concrete surface soiling. Evaluations of influence of ground elements (colors and planting foundations of cement paste) toward figure (soiling) were obtained. Evaluations of soiling due to microorganisms (alga and mold) were compared with customary evaluation of soiling due to exhaust.

Key Words: evaluation, soiling, concrete surface, microorganism, landscape
評価, 汚れ, コンクリート表面, 微生物, 景観

§1 まえがき

コンクリート構造物は高度成長期以来多くの社会資本を形成し、安全性、耐久性及び経済性の追求から我々の生活に重要な役割を果たしてきた。これはコンクリートの長所（耐久性に優れ、半永久的でしかもメンテナンスフリー）によるところが大きい。しかし最近では都市などの整備も進み快適性（アメニティ）が求められてきている。このアメニティの要素として美観性が求められ土木構造物においても例外ではない。しかし我々が目にするコンクリート構造物の多くは、埃、カビ及びコケなどが付着し一般に、あまりよい印象を持たれてはいない。特に何らかの形で常時水に接するような土木構造物（ダム、護岸など）は他の構造物に比べてきわめて過酷な曝露環境下にあり、耐久性に限らず美観性においても多大に影響を及ぼされている。コンクリート構造物は人目に付きやすいものであり、快適性を求める上で表面に付着する汚れ対策は重要といえる。ところが土木工学の分野では汚れ対策はほとんど確立されていない。

ここで汚れを物質付着による表面色彩の変化と定義すると¹⁾、コンクリートに付着する物質は車の煤煙、塵埃などの「非生物系の汚れ」と、カビ、藻類などの「生物系の汚れ」とに大別される²⁾。非生物系の汚れについては汚染程度の表示量など多様な研究報告がなされている³⁾。しかし生物系の汚れに関してはその重要度にも関わらずほとんど研究されておらず、生物系及び非生物系汚れの対応（相対評価）も十分検討されていないのが実状である。著者らは汚れ問題の解明を汚染機構⁴⁾及び評

価機構⁵⁾の2方向から検討しており、両者の対応もまた重要となる。

そこで本研究ではコンクリート構造物の汚れ評価に対する付着物質の影響を明らかにすることを目的として、モルタル試料を用いた3種類(スス、カビ及び藻類)の汚れ試験及び官能検査を行い汚れ物質間の評価の違いの検討を行った。つまり、汚れの主要因であるスス、カビ、藻類間の相対的評価(尺度化)を行うとともにそれぞれの汚れの表示量の検討も併せて行った。また着色モルタル及びエイジングを施した試料についてそれぞれの試料間の評価を検討した。

§2 実験概要

2.1 試料の作成

汚れ評価に及ぼす付着物質の影響について検討するため、モルタルにより試料(20×20×4 cm)を作成した。セメントは普通ポルトランドセメント、砂は豊浦産標準砂を使用し、モルタルの配合はW/C=40%, S/C=1とした。また背景の違いによる評価の違いを検討するため赤色、黄色、黒色及び茶色の着色モルタルを作成し、それぞれの顔料の添加率はセメント量の5%とした。白色はホワイトセメントを用いた。御影調は化粧型枠を用い、型枠転写により作成した。なお緑化基材はモルタル表面にピートモス、オガクズ、ちのこ、海砂(葉山)及び海砂(横浜)を付着させた。

2.2 汚れ物質の付着

7日水中養生後に、試料表面に汚れ付着を行った。汚れのうちススは車(トラック)の排気口から直接試料に吹き付け、真菌類(カビ)は *cladosporium cladosporioides*、藻類は *klebsormidium flaccidum* をそれぞれ試料表面に一様に塗布した。カビと藻類は、未汚れ試料との色差が異なる7種類の試料をそれぞれ作成した。試料表面を接触型色彩色差計(ミノルタカメラ(株): CR-300)を用いて、標準の光(D₆₅)で3カ所測定しその平均値を求めた⁶⁾⁷⁾。

2.3 官能検査手法

乾燥状態における3種(スス、カビ及び藻類)の汚れ物質間の尺度化を一对比較法を用いて行った(図1)。それぞれ未汚れ試料から色差が約10及び19となる6個の試料を用いて、このうち2つの試料をとり出し、全組合せ(15通り)で一方の試料が他の試料より「汚れている」と判断した。カビ及び藻類それぞれ7種類の汚れ試料においても「汚れている」の感性を用いて汚れ試料間の尺度化を行った。なお湿潤状態における尺度化は表面に直接水を噴霧した試料について判断した。また、背景の違いによる評価に対する影響として、無着色、着色及び仕上げ試料とに汚れを付着させ「汚れが目立つ」の感性を用いて尺度化を行った。ここで汚れ物質はスス(汚れ明度は38と一定)とし未汚れ試料をそれぞれ汚れ試料と共に提示し、2組の表面性状の差を比較し判断を行った。さらに緑化基材の試料を用いて「擁壁としてふさわしい」の感性から尺度化を行った。ここで被験者は呉高専学生男女20名(18~20歳)とした(緑化基材の試料及び着色試料の被験者は男子学生(20歳)10名)。屋外環境下での試料の視覚特性(物体色)は、光源、設置角度などに直接影響されることから⁸⁾、検査環境条件は日陰環境下(曇り)とした(照度約3000lx)。試料設置角度は垂直面とし、試料正面より5 mの位置から20名同時に検査を行った(図2)。ここで、全検査結果はThurstone-Mostellerの検定結果により危険率1%で内的整合性が認められた。

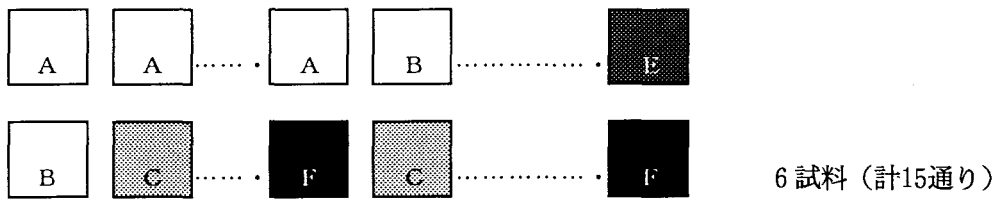


図1 一対比較法

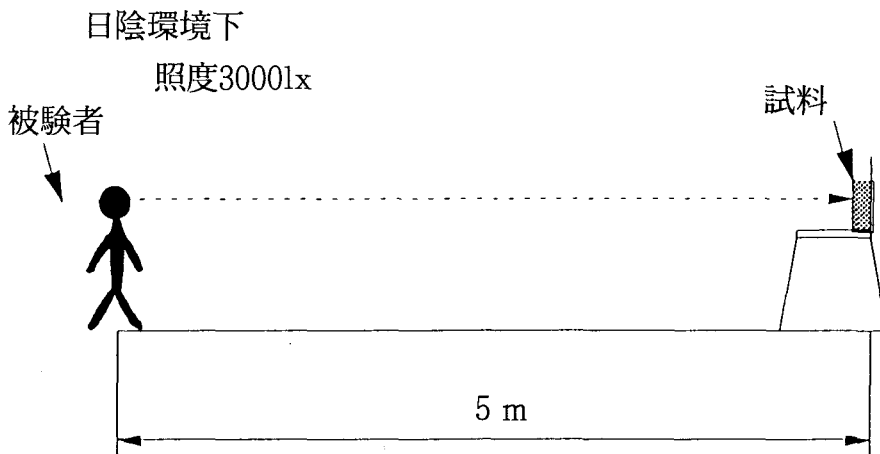


図2 実験条件

§3 結果及び考察

3.1 汚れ付着物質の色変化と評価尺度

スス、カビ及び藻類を付着させた供試体表面の色変化を図3、4に示す。スス及びカビの汚れは色差(汚れ量)の増加に伴い直接 L^* (明度)が減少し、彩度は若干増加した(7以下)。これに対して藻類の汚れは色差の増加に伴い明度が減少すると共に彩度($\sqrt{a^{*2}+b^{*2}}$)が増加し最大23となった。つまり、スス及びカビ汚れ量の増加は明度差の増加に起因し、藻類の汚れは明度差及び彩度差の増加によることが理解できた。

3種(スス、カビ及び藻類)の汚れ物質間の尺度化を図5に示す。縦軸は評価尺度値を示し、最大値を100、最小値を0としている。尺度値が大きいほど汚れていることを示す。カビ及びススの汚れに対し藻類の汚れは低い値となる。ここで上村ら³⁾はカーボン汚れの主体とした「汚れが気になる」程度を色差約10、「汚れが非常に気になる」を色差約20としており、これを適用すると、図中の尺度位置に表せた。これより付着物質の違いによる「汚れている」と色差との対応を図6に示した。ススに対するカビの汚れは「汚れが気になる」色差は10から13へと高くなり、「汚れが非常に気になる」値は20から17へと低くなった。これよりカビの汚れは色差が13程度に進行するまで汚れと認識されがたいものの、いったん認識されると小さい色差変化で「非常に気になる」汚れと判断される。ススに対する藻類の汚れ程度は汚れが気になる色差は10から16へと高くなった。これより藻類の汚れは色差が16程度に進行するまで「汚れている」と認識され難く、汚れの付着量に対して「汚れが気になり難い」と判断される。

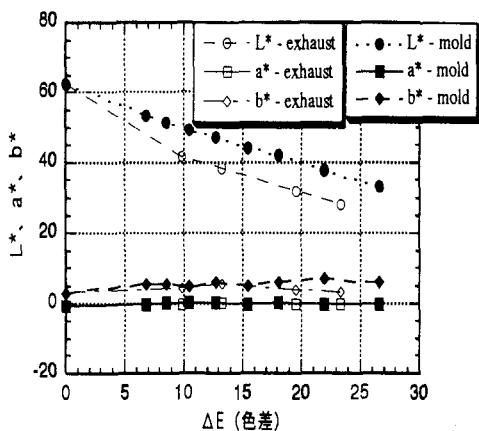


図3 色差と色変化(カビ, スス)

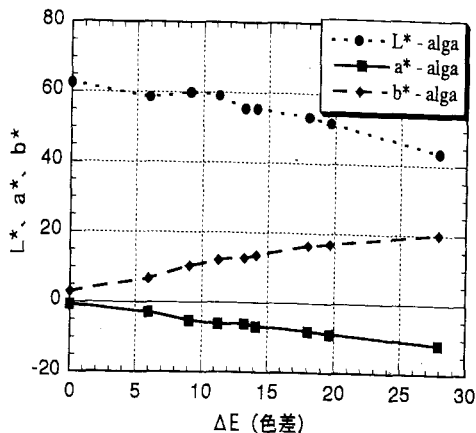


図4 色差と色変化(藻類)

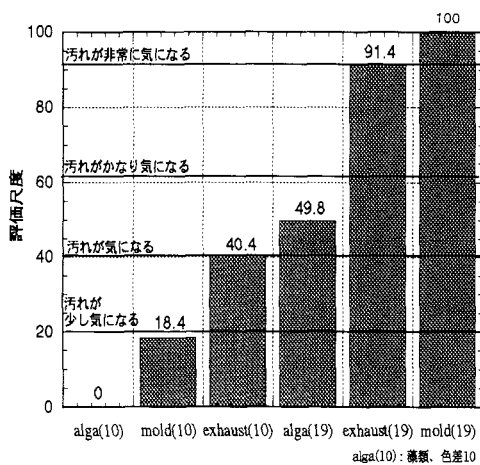


図5 汚れ物質と評価尺度との対応(乾燥)

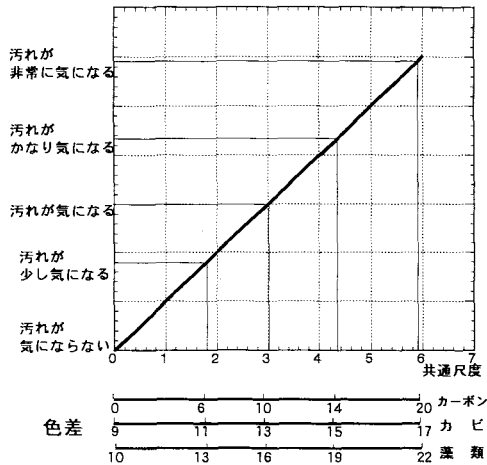


図6 付着物質の違いによる評価と色差

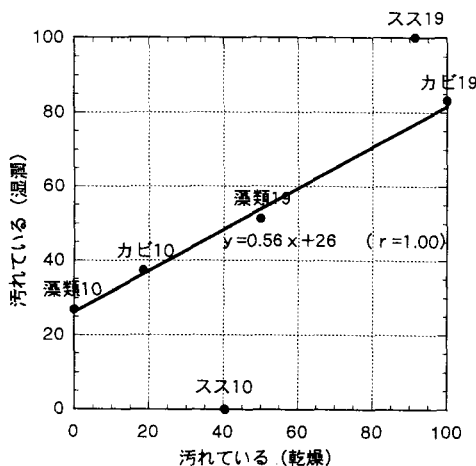


図7 乾燥及び湿潤状態の汚れ評価

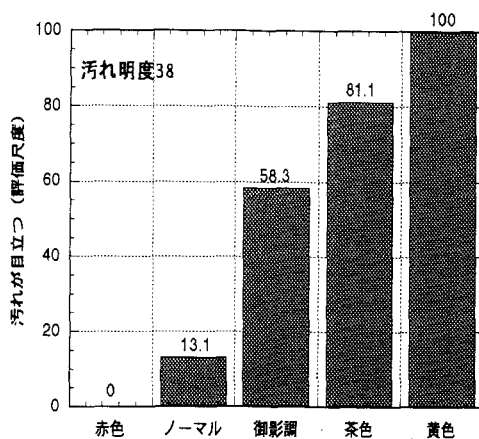


図8 ススの付着による背景色の影響

3.2 湿潤状態における尺度化

湿潤状態と乾燥状態の汚れの評価の関係を図7に示す。藻類及びカビに対する汚れ評価は直線回帰（相関係数 $r=1$ ）となり、湿潤及び乾燥状態の評価順位は同様となることが分かった。つまり藻類に対しカビの汚れはマイナスの評価となる。またススの汚れは乾湿それぞれの状態で評価が異なることが分かった。つまり色差10のカビの汚れは乾燥状態に対し湿潤状態でプラスイメージとなり、色差19のススの汚れは濡れることにより、よりマイナスの評価となることが理解できた。

3.3 背景色の影響

コンクリート素地面の色彩の影響を図8に示す。汚れが目立たない背景色は、赤色、未着色（ノーマル）、御影調、茶色、黄色の順序となった。未汚れ試料の彩度及び未汚れ試料と汚れ試料との色差から、赤色及びノーマルは高彩度（茶色及び黄色）の素地面に対し色差による判断以上に汚れが目立たないと判断される。つまり、近景領域で見せる対象となる都市内のコンクリート表面は、水の介在により「地（素地面）」と「図（汚れ面）」の状態⁹⁾にならないよう撥水剤（材）等を有効に使用するとともに、材料のエージングを前提とした素地色彩の選定も重要と考えられる。

3.4 着色試料及び緑化基材の評価

着色未汚れ試料の乾燥及び湿潤状態における「擁壁としてふさわしい」の評価を図9に示した。

擁壁材料としてふさわしいの判断はそれぞれ直線回帰（相関係数 $r=0.85$, $r=0.72$ ）となり乾燥及び湿潤状態の評価順位がほぼ同様となることが分かった。着色試料の評価ではWhiteは最も低い評価となった。これに対し乾燥ではRough, 湿潤状態でBrownが最も高い評価となり、他の試料に比べ擁壁として「ふさわしい」と判断された。

コンクリート擁壁に緑化を施すための付着基材を評価するために、緑化基材を施した試料の乾燥及び湿潤状態における「擁壁としてふさわしい」の評価を行った（図10）。緑化基材の評価ではピートモスは低い評価となり、乾湿共に海砂が高い評価となった。また、緑化基材を施さないノーマルは乾燥状態で低い評価となり、湿潤状態では高い評価になることが分かった。

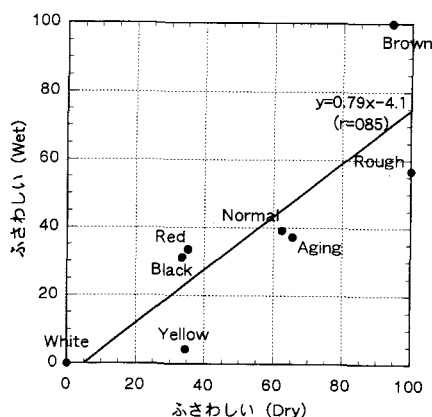


図9 乾燥及び湿潤状態における
着色試料の評価尺度

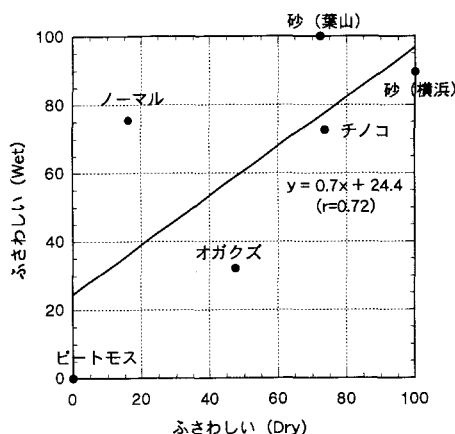


図10 乾燥及び湿潤状態における
緑化基材試料の評価尺度

S4 結論

本研究では付着物質が汚れ評価に及ぼす影響について検討を行った。本研究で得られた結果をまとめると以下の通りである。

- (1) スス及びカビの汚れは明度差の増加に直接影響され、藻類の汚れは明度差及び彩度差による。
- (2) ススの汚れに対し、藻類の汚れは気になり難く、カビの汚れはいったん認識されると小さい色差で非常に汚れが気になると判断される。
- (3) 藻類及びカビに対する汚れ評価は、乾燥及び湿潤状態の評価が同様となる。しかし、ススの汚れは乾湿の状態により汚れ評価が異なる。
- (4) 赤色の着色及び未着色のセメント系材料の素地面は汚れが目立たない傾向にある。
- (5) 乾湿両状態における未汚れの着色及び緑化基材試料の評価はそれぞれ同様となる。
- (6) 緑化基材試料の評価はピートモスは低い評価となり、海砂が高い評価となる。またノーマルの乾燥状態は低い評価となり、湿潤状態では高い評価となった。

【謝辞】

本研究の実施に際し広島大学教授田澤栄一先生に御指導いただきました。また、広島大学助教授河合研至先生の御指導を頂くと共に、戸田工業(株)今井知之氏、東海ゴム工業(株)高智武徳氏及び鹿島建設(株)難波信由氏にご協力を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 仕入豊和、地濃茂雄：コンクリート表面の汚れとその対策，コンクリート工学，pp.52-58，1986
- 2) L. G. W. Verhoef: Soiling and Cleaning of Building Facades, Chapman and hall, pp.65-123, 1988
- 3) 上村克郎ほか：外壁面仕上材料の汚染程度の表示量について，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.385-386，1986
- 4) 小竹森浩ほか：微生物によるコンクリートの表面機構に関する研究，コンクリート工学年次論文報告集 第17巻 第1号，pp.273-278，1995
- 5) 市坪誠ほか：コンクリートの汚れ特性と景観評価，セメント・コンクリート論文集 No.48 pp.666-671，1994
- 6) JIS Z 8729: L*a*b* 表色系及び L*u*v* 表色系による物体色の表示方法，1980
- 7) JIS Z 8730: 色差表示方法，1980
- 8) 市坪誠ほか：モルタルの色調変化に及ぼす表面形状の影響，コンクリート工学年次論文報告集 第17巻 第1号，pp.279-284，1995
- 9) 市坪誠ほか：表面処理されたモルタルの汚れ色調特性，コンクリート工学年次論文報告集 第16巻 第1号，pp.883-888，1994

(平成 8 年 4 月15日受付)

パルミチン酸とプロピオン酸の嫌氣的分解に及ぼす硫化物の影響

(環境都市工学科) 山口隆司, 市坪 誠
(長岡技術科学大学) 原田秀樹

Effects of sulfide concentration on anaerobic degradation of palmitate and propionate.

(Department of Civil Engineering) Takashi YAMAGUCHI and Makoto ICHITSUBO
(Nagaoka University of Technology) Hideki HARADA

Abstract

Effects of sulfide concentration on anaerobic degradation of palmitate and propionate was investigated using five anaerobic sludge consortia grown in two CSTRs and three UASB reactors.

Two CSTRs were fed with a wastewater ($1100 \text{ mg COD} \cdot \ell^{-1}$) composed with palmitate as a major carbon source, but under different levels of hydrogen sulfide, that is, R1 ($1 \sim 15 \text{ mg} \cdot \ell^{-1}$) and R2 ($40 \sim 90 \text{ mg} \cdot \ell^{-1}$). Three UASB reactors were fed with sugar-containing wastewater, but with different levels of sulfate, that is, R3 ($100 \text{ mg SO}_4^{2-} \cdot \ell^{-1}$, $2000 \text{ mg COD} \cdot \ell^{-1}$), R4 ($3000 \text{ mg SO}_4^{2-} \cdot \ell^{-1}$, $2000 \text{ mg COD} \cdot \ell^{-1}$) and R5 ($100 \text{ mg SO}_4^{2-} \cdot \ell^{-1}$, $5000 \text{ mg COD} \cdot \ell^{-1}$).

Four kinds of sludge except R3, 95 percent of fatty-acid degrading-activities were inhibited at $400 \sim 530 \text{ mg} \cdot \ell^{-1}$ of hydrogen sulfide. Acetate-producing activity from palmitate (APA) of R1 and propionate-degrading activity (PDA) of R4 were continuously decreasing with increasing of hydrogen sulfide above about $50 \text{ mg} \cdot \ell^{-1}$. However, we observed phenomena that hydrogen sulfide has enhanced APA for R2 and PDA for R3 and R5.

Key Words: anaerobic digestion, palmitate, propionate, sulfate-reducing bacteria, sulfide
嫌気性消化, パルミチン酸, プロピオン酸, 硫酸塩還元細菌, 硫化物

§1 はじめに

嫌気性生物処理法は、①好気性生物処理法と比較して処理における投入エネルギーを低く抑えられること、②廃水処理の結果メタンを回収できること、③維持管理が容易であること、等の優れた特徴を有する創・省エネルギー型の廃水処理法である。もともと、嫌気性処理法は、高濃度の有機性廃水に好気性処理法を用いることが非経済的であるという理由から用いられてきた。が、近年、上述のような優れた点を有する嫌気性処理法を積極的に利用するための処理システムの開発が進められ、適用廃水種が拡大し、嫌気性処理技術は著しく敷衍してきている。今後、更に嫌気性処理法を発展させて

いくためには、プロセスの中心を担う多様な微生物群の生理機構や生態学的特性等についてより詳しい知見の収集が必須といえる。

こうした背景で、メタン発酵システムにおける硫酸塩還元細菌 (Sulfate-Reducing Bacteria, SRB) の生態学的役割の重要性を再認識する研究が進展している¹⁻⁴⁾。

硫酸塩還元細菌は、硫酸塩を硫化物に還元することでエネルギーを得て生育する嫌気性微生物であり、自然界に幅広く且つ高い割合で存在していることが知られている⁴⁾。硫酸塩負荷の低い嫌気的環境下において、有機物は脂肪酸 (プロピオン酸、パルミチン酸等) 等の中間生成物を介して、最終的にメタンと二酸化炭素にまで分解される。一方、硫酸塩負荷の高い嫌気的環境下ではメタンと二酸化炭素に加えて、SRB によって分解される有機物の割合が高くなり反応槽内に硫化物が盛んに生成される。

これまで硫化物が生成・存在することが嫌気性処理プロセス与える影響については次のような知見が得られている; 利点: ①硫化物は反応槽内の酸化還元電位を低く保つ, ②微生物の菌体硫黄として利用される, ③重金属の沈殿回収・除去に役立つ⁵⁾等, 問題点: ①反応槽内での硫化水素濃度が高くなった場合にメタン生成等の微生物代謝活性を阻害する⁶⁾, ②コンクリート, 金属材料から構成されている施設を腐食する原因となる⁷⁾, ③悪臭の原因となる, 等。

しかしながら, 硫化物が微生物の有機物利用特性に与える影響に関する報告は, 乏しい現状にある。特に, 高級脂肪酸やプロピオン酸を分解する水素生産性酢酸生成細菌 (Hydrogen-producing proton-reducing acetogen, PRB) の代謝活性に及ぼす硫化物の影響を評価した知見はほとんどみられない。

そこで, 本研究では, パルミチン酸 (飽和高级脂肪酸, 炭素数16) を実験対象高級脂肪酸として用い, 脂肪酸分解に及ぼす硫化物の影響を評価した。実験では, 先ず, パルミチン酸を主要炭素源として, 硫化物濃度が異なる2基の完全混合型反応槽 (CSTR) を半連続運転し, 2種の汚泥 (硫化物濃度 ($\text{mg} \cdot \ell^{-1}$): R1, 1~15; R2, 50~100) の培養を行った。次に, 培養汚泥をバイアル活性試験に供して硫化物の影響を評価した。更に, 実験では, プロピオン酸 (揮発性脂肪酸, 炭素3) 分解に及ぼす硫化物の影響を, 硫酸塩負荷の異なる糖・有機酸混合基質をUASB反応器に供給して培養した3種の汚泥 (R3, R4, R5) について評価し, パルミチン酸基質で培養された汚泥の硫化物影響特性と比較した。

§2 実験方法

2.1 実験装置・反応器運転条件

実験には, 2基の完全混合型反応器 (CSTR) と3基のUASB反応器を用いた。Table 1に反応器運転条件を示す。R1, R2の培養はTable 1の基質構成物に, 以下の微量元素 (単位: $\text{mg} \cdot \ell^{-1}$) を添加して構成した; NH_4Cl , 500; $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 400; $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 150; $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, 2; $\text{MnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 0.50; $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 0.17; ZnCl_2 , 0.07; H_3BO_3 , 0.06; $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 0.04; $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 0.027; $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 0.025; EDTA, 5。一方, R3, R4, R5の微量元素 (単位: $\text{mg} \cdot \ell^{-1}$) には, R1, R2の微量元素に加え, KH_2PO_4 , 200と KCl , 300を添加した (ただし, $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, 5; EDTA, 0とした)。また, 供給硫酸塩は, それぞれ, 以下のように構成した: R2, 硫酸溶液; R3とR5, Na_2SO_4 ; R4, Na_2SO_4 : K_2SO_4 : $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 = 1500: 1500: 1600$ 。

基質の供給は, R1とR2ではフィル・アンド・ドロー操作による回分方式で1日1回行い, R3, R4, R5では連続供給方式で行った。

2.2 反応槽内生成硫化物の脱硫方法

R1, R4には, 硫酸塩還元反応の結果生成する硫化物による保持汚泥活性の低下軽減を目的に脱硫装置を付加した。R1の脱硫装置は, 生成ガスを反応器気相部と脱硫カラム (容積2.0 ℓ , 酸化鉄ペレット (日産ガードラー触媒, N-IDS) を充填) 間を循環させることで反応槽の硫化物を除去する構成とした

(循環ガス流量: $5 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$; 1 min 運転, 4 min 停止サイクル)。R2でも脱硫措置は行ったが、脱硫は1バッチ当たり1回、およそ30分間窒素を液層部に対してパージする方法とした(R1とR2の污泥培養方法の主たる相違点は、生成硫化物の脱硫方法にある)。R3, R5は、硫化物負荷が低いため脱硫措置は行わなかった。R4には、流出水を不活性ガスで曝気脱硫する装置(脱流カラム容積: 0.25 l)を付加して、脱硫水を反応基底部から返送(基質流入に対する返送の比は2)し、硫化物負荷を低減した。

Table 1 Reactor operating conditions (Cultivation condition).

Run	R1	R2	R3	R4	R5
Reactor (volume, liter)	CSTR (2.0)		UASB (14.5)		UASB (16.0)
Carbon source ($\text{mgCOD} \cdot \text{l}^{-1}$)	palmitate: yeast extract = 10:1, (1100 a)		sucrose: propionate: acetate: peptone = 45:22.5:22.5:10, (2000)		lac: prop: ace: buty: yeast ex. (5000) ^{b)}
Influent sulfate ($\text{mgSO}_4^{2-} \cdot \text{S} \cdot \text{l}^{-1}$)	150 a)	150 a)	33	1000	33
Sulfide removal device	continuous c)	intermittent d)	without	continuous c)	without
H_2S in the effluent ($\text{mgH}_2\text{S} \cdot \text{S} \cdot \text{l}^{-1}$)	3.5 ± 3.4	54.6 ± 24.8	5.4 ± 3.4	79.9 ± 22.7	n.d. ^{e)}
Effluent pH	7.0 ± 0.3		7.0 ± 0.2	7.6 ± 0.2	n.d.
Loading ($\text{kgCOD} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$)	1.1		15	2.0	15
COD removal efficiency (%)	80~90		80~90		80~90

Temp. $35 \pm 1^\circ\text{C}$. a) concentration in reactor- liquid after feeding (filling).

b) composition; lactate: acetate: propionate: butyrate: yeast extract = 15:10:10:13:2.

c) Sulfide stripper has been running continuously.

d) Liquid phase was purged with N_2 for 10 min (30 min on after 46th day) prior to each feeding.

e) not determined.

2.3 植種污泥

R1とR2の種污泥には、当研究室で長期間運転している182 l容量のUASB反応器(原廃水:牛乳, 入基質濃度 $3800 \text{ mg COD} \cdot \text{l}^{-1}$, 硫酸塩濃度 $25 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, 容積負荷 $6 \text{ kg COD} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$, COD除去率90%以上, 35°C)から採取したグラニユーラ污泥を分散処理した污泥を用いた。R3, R4, R5には、長岡市下水処理場の中温消化污泥を自然沈降濃縮したものを用いた。

2.4 バイアル活性試験の方法

培養污泥に対して、パルミチン酸、プロピオン酸、酢酸、水素をテスト基質としてパルミチン酸利用活性(酢酸生成活性, Acetate-producing activity, APA), プロピオン酸分解活性(Propionate-degrading activity, PDA), メタン生成活性(Methane-producing activity, MPA), 硫酸塩還元活性(Sulfate-reducing activity, SRA)を求めた(何れも, COD換算として, $\text{gCOD} \cdot \text{gVSS}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ の単位で求めた)。

活性試験は120ml容量バイアル瓶を用いて行った(詳細は、山口らの方法¹⁾による)。尚、クロロホルムを添加するときは $5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ vial liq. となるように注入した。また、添加硫酸塩濃度は、微生物群の分解能を考慮して適宜 $300 \sim 1000 \text{ mg SO}_4^{2-} \cdot \text{l}^{-1}$ vial liquid とした。

パルミチン酸利用活性は、パルミチン酸からの酢酸生成活性(APA, Acetate-producing activity from palmitate)で評価した。これは、パルミチン酸が β 酸化されると酢酸と水素とに分解される代謝特性を活用したものである。活性試験バイアルには、基質であるパルミチン酸の他に、MPBによる酢酸分解を阻害するためのクロロホルムと、パルミチン酸資化性水素生産性酢酸生成細菌(Pal-PRB)の反応を促す水素資化性SRB(H-SRB)のための硫酸塩を添加した。硫酸塩は、パルミチン酸資化性SRB(Pal-SRB)の代謝にも寄与するため、ここで求められるAPAは、Pal-PRBとH-SRBの共生系と、Pal-SRBとによるパルミチン酸からの酢酸生成活性となる。

2.5 分析方法

分析方法は以下の通り: ガス組成 (ガスクロマトグラフ, TCD, Unibeads-C, 60/80, Col. Temp. 145°C, Carrier press 1.60 kgf・cm⁻² Ar), 揮発性脂肪酸 (ガスクロマトグラフ, FID, Thermon3000, 5%, 60/80, Col. Temp. 130°C, Carrier press 0.75 kgf・cm⁻² N₂), 硫酸塩 (イオンクロマトグラフ, CDD, Shimpack-A1, Col. Temp. 40°C, Movil phase: Potassium hydrogen phthalate 2.5mM, 及び, 島津細管式等速電気泳動分析装置 IP-3A)。その他の分析法は, 下水試験方法⁸⁾によった。

3.3 実験結果・考察

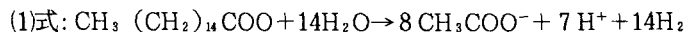
3.1 硫酸塩還元細菌の硫化物耐性と順応性、馴養効果

3.1.1. 汚泥の培養

Fig.1, Fig.2 に, それぞれ, R1 (low H₂S) と R2 (high H₂S) の反応器運転特性を示す。Fig.1, Fig.2 中のA図は, バッチ毎の単位時間単位 VSS 当たりのメタン生成・硫酸塩還元能を示す。培養開始後 1 週間程度で投入したパルミチン酸基質を 24 時間以内に完全に分解するようになり, その後分解反応は安定した。R1 のメタン生成能と硫酸塩還元能は運転経過に従って, 上昇傾向にあった。R2 では, 運転経過日数 60~150 日頃の期間は, パルミチン酸の分解は良好ではなかった (基質供給時の脱硫措置で, 室素ガスパーズ (2 liter・min⁻¹) 時間を 10 min から 30 min に増加したところ, メタン生成・硫酸塩還元能が 150 日頃までに回復し

たので, 硫化物がパルミチン酸分解の遂行を阻害したと考えられる。また, この期間, pH を定常運転よりも高い 7.0~7.6 に調整して硫化水素による代謝阻害を低減した。更に, 水理学的滞留時間を 3 倍にすることで容積負荷を定常時 (1.1gCOD・ℓ⁻¹・d⁻¹) の 1/3 にまで低減する措置も行った)。

B図は, (硫酸塩還元反応による COD 除去量)/(総 COD 除去量) の経日変化を示す。ここで, 総 COD 除去量とは, 硫酸塩還元反応による COD 利用量とメタン生成量の和であり, A図を基に算出した。総 COD 除去量に対する硫酸塩還元菌による COD 除去量の割合は, 運転期間を通して R1 では 0.216±0.074 (平均±標準偏差), R2 で 0.216±0.066 であった。パルミチン酸が不完全酸化した場合, その両論式と自由エネルギー変化量は(1)式のようなになる。



$$\Delta G^0 = 345.6 \text{ kJ} \cdot \text{reaction}^{-1} \text{ } ^9)$$

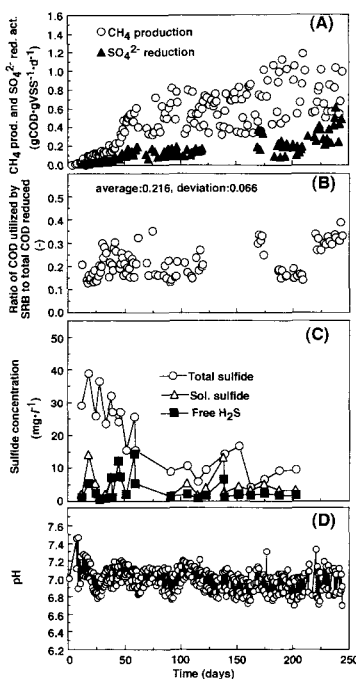


Fig. 1 Reactor operation for CSTR 1 with sulfide reducer (low sulfide).
(A) Methane-producing and sulfate-reducing activity as COD equivalent.
(B) Ratio of COD utilized by sulfate reduction to total COD reduced (methane production plus sulfate reduction).
(C) Sulfide concentration.
(D) Change of pH.

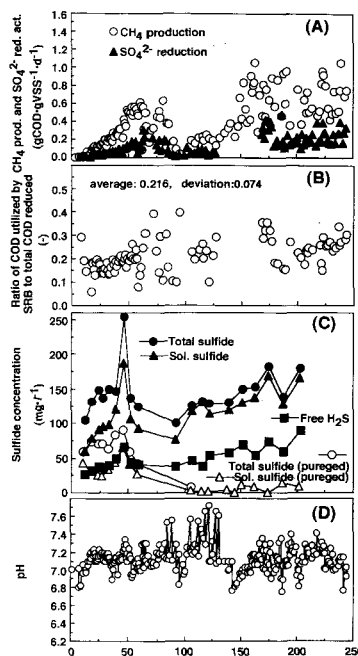


Fig. 2 Reactor operation for CSTR2 without sulfide-reducer (high sulfide).
Figure (A) through (D) were same as given in Fig. 1.

(1)式に従えば、分解 COD の69.6%が酢酸に、30.4%が水素に分解される。本実験で得られた総 COD 除去量に対する硫酸塩還元菌による COD 除去量の割合は、水素経由で代謝される COD の割合0.304以下であった。

C図は、硫化物濃度の経日変化を示す。R1 では連続脱硫措置を施したため、運転期間を通して硫化水素濃度は $1 \sim 15 \text{ mg} \cdot \ell^{-1}$ と低く維持できた。R2 では、窒素パージ措置前の硫化水素濃度は、 $40 \sim 90 \text{ mg} \cdot \ell^{-1}$ と高いレベルであった（運転45日まで、R2の脱硫方法は、基質供給1バッチ当たり1回、およそ10分間窒素を液層部に対してパージする方法を採用した）。R2の反応槽内の硫化水素濃度が $60 \text{ mg} \cdot \ell^{-1}$ となった運転50日目頃からメタン生成が阻害され、パルミチン酸負荷がかけられず、メタン生成・硫酸塩還元能とともに低減した。運転46日以降、反応槽内の遊離硫化水素濃度を低く保つために脱硫措置1回当たりのパージ時間を30分間とし、また、pHを7.0以上にして運転を続けたところ、運転150日目頃からパルミチン酸分解能は、容積負荷 $1.0 \text{ kg COD} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ を許容するレベルにまで回復した。

図Dには、運転における pH 変化を示した。

3. 1. 2 R1 と R2 のメタン生成・硫酸塩還元活性

Fig. 3に、運転426日目のR1 (low H_2S) とR2 (high H_2S) のメタン生成活性 (MPA), 硫酸塩還元活性 (SRA, COD 換算活性) を評価した結果を示す。活性試験のテスト基質には、酢酸、水素、パルミチン酸を用いた。パルミチン酸から MPA は、硫酸塩添加系と無添加系について評価した。パルミチン酸分解過程における SRA 評価バイアルにはクロロホルムを添加して評価した。水素、酢酸基質に対して MPB と SRB が競合することは知られているが、R1 とR2において MPB はこれらの基質に対する活性は高く保持されていたことが分かる。硫酸塩還元活性についてみると、R1, R2共に水素資化性 SRA が酢酸、パルミチン酸基質の活性と比較して高かった。この結果から、SRB がパルミチン酸の分解過程で特に、水素除去者として寄与していたことがわかる。

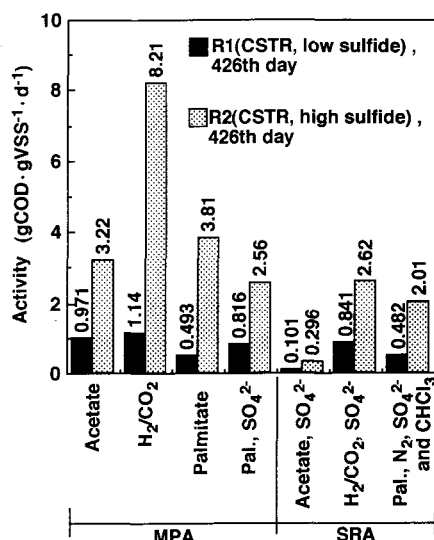


Fig.3 Methane-producing (MPA) and sulfate-reducing activity (SRA, COD equivalent) for R1 and R2.

3. 1. 3 パルミチン酸利用活性と硫化水素濃度の関係

Fig. 4に、CSTRでの培養汚泥R1とR2のパルミチン酸からの酢酸生成活性 (APA, 単位: $\text{gCOD} \cdot \text{gVSS}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$) と硫化水素濃度の関係を示す。パルミチン酸利用活性は、パルミチン酸からの酢酸生成活性 (APA) で評価した。これは、パルミチン酸が β 酸化されると酢酸と水素とに分解される代謝特性を活用したものである ((1)式参照)。APAは、Pal-PRBとH-SRBの共生系による酢酸生成と、Pal-SRBとによる酢酸生成の和である。Fig. 4-Bは、Fig. 4-Aを基にした活性比率を示す (活性比率は、硫化水素濃度が最も低い条件で試験を行った活性値をコントロールとして求めた)。活性試験の結果、APA比率が、100%, 50%, 5%以下になる硫化水素濃度 ($\text{mgH}_2\text{S} \cdot \ell^{-1}$) は、それぞれ、R1では、50, 150, 470, R2では、80, 360, 450のレベルとなった。また、R2では、 $180 \text{ mgH}_2\text{S} \cdot \ell^{-1}$ で最大活性 (コントロールのAPAの128%) を得た。

R1とR2のAPAは共に、硫化水素濃度 $400 \sim 530 \text{ mg} \cdot \ell^{-1}$ において、コントロールのAPAに対して

5%程度のレベルにまで阻害された。が、硫化水素濃度がAPAの挙動に与える影響は、R1とR2とでは異なっていた。即ち、R1においてAPAが硫化物濃度の増大に準じて低下したことに對して、R2では、APAは硫化水素濃度が $80 \sim 180 \text{ mg} \cdot \ell^{-1}$ の範囲で増大し、 $180 \sim 450 \text{ mg} \cdot \ell^{-1}$ の範囲において低下した。このように、APAと硫化水素濃度の関係に差異が生じた原因には、パルミチン酸を酸化する微生物種の違いが考えられる(次節で述べる)。

Fig. 4-Aで、R1のAPAは、R2のAPAの最大ピークのある硫化水素濃度 $180 \text{ mg} \cdot \ell^{-1}$ 程度まで急激に低下し、 $180 \text{ mg} \cdot \ell^{-1}$ より高い範囲ではR2の活性低下の傾きに近似の緩慢な低下をみせた。この結果から、R1では、硫化水素 $180 \text{ mg} \cdot \ell^{-1}$ を境界にしてパルミチン酸分解活性を有する微生物種が異なっていたことが考えられる。次節では、パルミチン酸酸化細菌の菌叢特性をバイアル活性試験で評価した。

3. 1. 4 R1とR2のパルミチン酸酸化細菌種評価

Fig. 5にR1とR2のパルミチン酸利用活性を、パルミチン酸からの酢酸生成活性(APA)で評価した結果を示す。実験では3種のバイアル条件を用いた。3バイアルには共に、パルミチン酸(炭素源)とクロロホルム(MPBによる酢酸分解の阻害剤)を添加した。また、バイアル1では、気相部に窒素を充填し、液相部に硫酸塩を添加した。バイアル2では、気相部に H_2/CO_2 (80/20(v/v), %)を充填(130kPa)した。バイアル3では、気相部に H_2/CO_2 (80/20(v/v), %)を充填(130kPa)し、液相部に硫酸塩を添加した。これらの条件により、各バイアルでパルミチン酸分解(酢酸生成)に寄与し得る微生物群は、それぞれ以下ようになる; バイアル1: パルミチン酸酸化性水素生産性酢酸生成細菌(Pal-PRB)と水素酸化性SRB(H-SRB)の共生系、及びパルミチン酸酸化性SRB(Pal-SRB); バイアル2: パルミチン酸分解を行う微生物群無し; バイアル3: Pal-SRBのみ。

バイアル1ではR1とR2共にAPAを有したが、一方、バイアル3ではR1のみAPAが認められた。また、バイアル2ではAPAはゼロであった。この結果より、増殖したパルミチン酸分解者は、R1ではPal-PRBとPal-SRBであり、R2ではPal-PRBのみであったことがわかる。

以上の結果から、Pal-PRB(R2)の硫化水素耐性が、Pal-SRB(R1)のそれよりも高いことが推察できる。また、Fig. 4のR2のような、硫化水素濃度に対してAPAが一度上昇しピークを有する特性は、Pal-PRBと水素除去者(ここではH-SRB)の共生系によるパルミチン酸分解(酢酸生成)過程にみられる現象であると考えられる。更に、Fig. 5の結果から、Fig. 4-AにおいてAPAが硫化水素濃度 $190 \text{ mg} \cdot \ell^{-1}$ 程度まで急激に低下した原因には、この濃度範囲内でPal-SRBによるパルミチン酸利用活性が顕著に低下したことが考えられる。

以上では、パルミチン酸を対象高級脂肪酸(脂質系基質)として脂肪酸分解活性に対する硫化物の

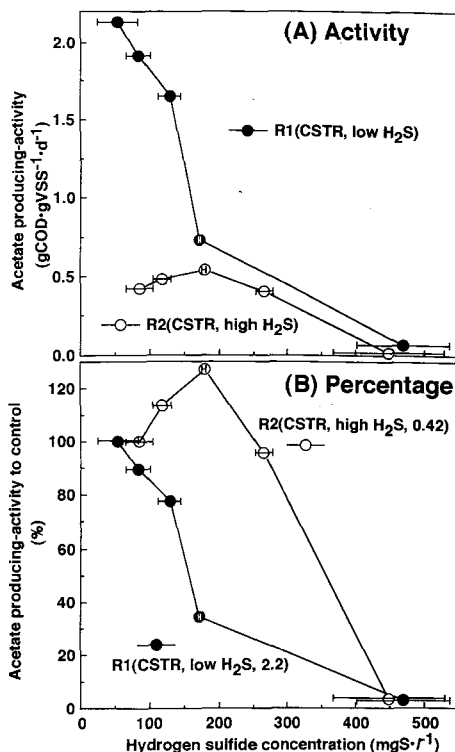


Fig. 4 Effect of hydrogen sulfide concentration on acetate-producing activity from palmitate in the presence of $5 \text{ mg} \cdot \ell^{-1}$ of chloroform for two kinds of sludge grown under different hydrogen sulfide concentration, that is, R1 (low H_2S , 426th day) and R2 (high H_2S , 426th day). (A): activity; (B): percentage to control. The value in parentheses indicate the acetate-producing activity of control. Bar indicate the range of hydrogen sulfide concentration in a vial test.

影響を評価してきたが、次節以降では、糖系基質で培養した汚泥の脂肪酸（プロピオン酸）分解活性に対する硫化物の影響を検討する。更に、それらを合わせて、脂肪酸分解に寄与する微生物群が硫化物から受ける影響を評価する。

3.2 プロピオン酸分解活性と硫化物濃度の関係

3.2.1 UASB 反応器運転特性

糖系基質を3基のUASB反応器に供給し、3種の汚泥を培養した（R3, R4, R5; 運転条件はTable 1参照）。3基とも運転はTable 1の条件で1年以上行った。3基とも運転におけるCOD除去率は80%以上であった。硫酸塩負荷の低いR3（ $\text{SO}_4^{2-}/\text{COD}$ （w/w）=1/20）とR5（同、1/50）は、メタン発酵の卓越した培養系となった。一方、硫酸塩負荷の高いR4（ $\text{SO}_4^{2-}/\text{COD}$ （w/w）=3/2）では、有機物分解の100%が硫酸塩還元反応によって遂行され、硫酸塩還元が卓越した培養系となった。Table 2にR3（運転751日目）、R4（運転861日目）、R5（運転1500日以上）の（SRA）を示す。R3とR4の活性試験は、2回行い平均を活性とした。Table 2の結果から、R3とR5でMPBが優勢であったことと、R4でSRBが卓越したことが理解できる。尚、R3, R5ではグラニューール汚泥が形成されたが、R4ではグラニューール汚泥はほとんど観察されなかった。

3.2.2 R3, R4, R5のプロピオン酸分解活性

Fig. 6に、R3, R4, R5のプロピオン酸分解活性（Propionate-degrading activity, PDA）に硫化物濃度が与える影響をバイアル活性試験で評価した結果を示す。Fig. 6-AはPDAを示し、Fig. 6-Bは、Fig. 6-Aを基にした活性比率を示す（活性比率は、硫化物濃度が最も低い条件で試験行った活性値をコントロールとして求めた）。R3とR4のPDAは、反応器運転658日目と773日目に評価した。

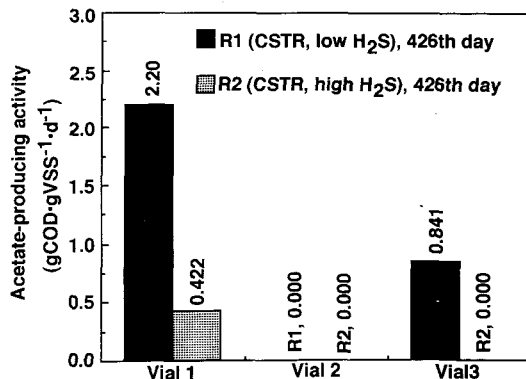


Fig. 5 Acetate-producing activity from palmitate for sludge grown in R1 and R2 under three kinds of vial condition following (vial phase condition, gas / liquide; actable bacteria for acetate-producing from palmitate).

Vial 1 : N₂ / palmitate, SO₄²⁻ and CHCl₃; Pal-PRB and SRB.

Vial 2 : H₂ / Palmitate and CHCl₃; not actable.

Vial 3 : H₂ / Palmitate, SO₄²⁻ and CHCl₃; SRB.

Table 2 Methane-producing and sulfate-reducing activities (gCOD·gVSS⁻¹·d⁻¹) for three kinds of sludge grown in R3 (UASB, sulfate poor), R4 (UASB, sulfate rich), and R5 (UASB, VFAmix, sulfate poor).

UASB reactor	Methane-producing activity		Sulfate-reducing activity	
	acetate	H ₂ /CO ₂	acetate ^{a)}	H ₂ /CO ₂ ^{b)}
R3 (751st d.)	2.74 ± 0.08 ^{c)}	2.16 ± 0.02	0.00 ± 0.00	0.33 ± 0.00
R4 (861st d.)	0.14 ± 0.01	0.00 ± 0.00	0.27 ± 0.01	0.26 ± 0.00
R5 (ov. 4 years)	0.73	1.33	n.d. ^{d)}	n.d.

^{a)} Acetate-degrading activity by sulfate reduction.

^{b)} hydrogen-degrading activity by sulfate reduction.

^{c)} average ± standard deviation

^{d)} not determined.

先ず, Fig. 6-B のR3とR4より, $50\text{mgH}_2\text{S} \cdot \ell^{-1}$ 以下のPDAをコントロールとしてPDAと硫化水素の関係を活性比率で整理した場合 (Fig. 6-B), 反応器運転658日目と773日目に行った結果は近似であった。このことから, 運転経日の違いがPDAの比率と硫化水素の関係にはあまり影響しないことがわかった。また, プロピオン酸分解細菌の菌種がそれぞれ有する硫化水素耐性を本実験で評価できたことが確認できた。

硫化水素に対して, R3のPDAは, $80\text{mgH}_2\text{S} \cdot \ell^{-1}$ で最大ピーク (コントロールの1.7~2.2倍) となり, $300\text{mgH}_2\text{S} \cdot \ell^{-1}$ まではコントロールの1.1~1.3倍のレベルを維持した (Fig. 6-B)。R5のPADは, $60\text{mgH}_2\text{S} \cdot \ell^{-1}$ で最大ピーク (コントロールの1.2倍) となり, $60\text{mgH}_2\text{S} \cdot \ell^{-1}$ 以上で低下し, $340\text{mgH}_2\text{S} \cdot \ell^{-1}$ でゼロとなった。R3とR5で観察された現象, 即ち, 硫化水素濃度が高くなることによってPDAが上昇する挙動は, パルミチン酸で培養したR1で観察された挙動と似た特性といえる (Fig. 4参照)。一方, SRBのみが卓越したR4のPDAは, 硫化水素濃度の上昇に準じて連続的に低下し続け, $250\text{mgH}_2\text{S} \cdot \ell^{-1}$ でAPA比率20%にまで阻害され, $510\text{mgH}_2\text{S} \cdot \ell^{-1}$ ではゼロとなった。Rinzemaら¹⁰⁾ は, プロピオン酸の嫌氣的分解過程における硫化物の影響について, プロピオン酸を主要炭素源とした高濃度硫酸塩含有人工廃水をUASB反応器に供して, 連続運転における反応槽内の硫化物濃度とプロピオン酸分解速度から評価した。その結果, 硫化水素濃度が $100\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 程度にまで過剰となると, プロピオン酸分解能は顕著な低下をみせた。本研究のバイアル活性実験より得られたPDAは, Rinzemaらの結果よりも, プロピオン酸分解者の硫化水素耐性が高いことを示す結果となった。

Fig. 6の結果から, 硫化水素濃度が脂肪酸分解活性に与える影響には, 硫化水素濃度の上昇に伴って, PDAが低下し続けるケース (ケース1) と, 高められた後に低下するケース (ケース2) の2種があることがわかった。次節では, R3, R4, R5の培養汚泥をバイアル活性試験に供してプロピオン酸分解細菌の菌叢特性を評価し, ケース1とケース2が生じる原因を検討した。

3.2.3 R3, R4, R5のプロピオン酸分解 (酸化) 細菌評価

Fig. 7にR3, R4, R5のプロピオン酸分解活性 (Propionate-reducing activity, PDA) 評価試験の結果を示す。実験では3種のバイアル条件を用いた。3バイアルには共に, プロピオン酸を炭素源として添加した。また, バイアル1では, 気相部に窒素を充填した。バイアル2では, 気相部に H_2/CO_2 (80/20(v/v), %)を充填 (130kPa) し, 液相部にクロロホルム (MPBの代謝阻害剤) を添加した。バイアル3では, 気相部に H_2/CO_2 (80/20(v/v), %)を充填 (130kPa) し, 液相部にクロロホルムと硫酸塩を添加した。これらの条件により, 各バイアルでプロピオン酸分解に寄与し得る微生物群は, それぞれ以下ようになる; バイアル1: プロピオン酸資化性水素生産性酢酸生成

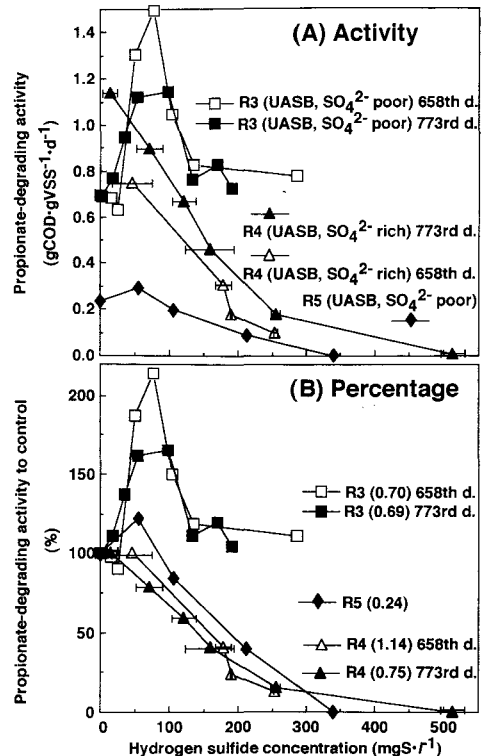


Fig.6 Effect of hydrogen sulfide concentration to propionate-degrading activity for three kinds of sludge grown in R3 (UASB, sulfate poor), R4 (UASB, sulfate rich) and R5 (UASB, VFAmix, sulfate poor). (A): activity; (B): percentage of control. The value in parentheses indicate propionate-degrading activity of control. Bar indicate the range of hydrogen sulfide concentration in a vial test.

細菌 (Pro-PRB) と水素資化性 MPB (H-MPB) の共生系; バイアル 2: プロピオン酸分解を行う微生物群無し; バイアル 3: プロピオン酸資化性 SRB (Pro-SRB) のみ。

Fig. 7の結果より, バイアル1のPDA (Pro-PRB と MPB の共生) に対するバイアル 3 (Pro-SRB) の活性比は, それぞれ, R3 で0.83 ($0.659/0.793$), R4 で42.3 ($1.00/0.0236$), 及びR5 で0.077 ($0.020/0.26$) であった。低硫酸塩負荷で培養したR3では, バイアル1とバイアル3の両条件下で比較的高い活性を有する結果となり, 培養汚泥内にプロピオン酸分解者としてPro-PRBとPro-SRBの両者が増殖したことがわかった。同様に, 低濃度硫酸塩負荷で培養したR5でも, PDAは低いレベルであるもののPro-PRBとPro-SRBの両者が生育したといえる。

菌叢に相同性のあるR3とR5のPDA比率は, 硫化水素濃度 $300\text{mgH}_2\text{S}\cdot\ell^{-1}$ において異なっていた (R3のPDAは保持されたが, R5ではPDAがゼロとなった)。この原因のひとつには, R3のMPAがR5のそれよりも高かったことが考えられる (Table 2, 酢酸基質で1/3.8倍, 水素基質で1/1.6倍)。R3を供試汚泥としたバイアル実験で, 硫化水素 $250\text{mgH}_2\text{S}\cdot\ell^{-1}$ における水素・酢酸資化性MPAは, $1\text{mgH}_2\text{S}\cdot\ell^{-1}$ におけるMPAの2~3割にまで低下した (データ不提示)。 $300\text{mgH}_2\text{S}\cdot\ell^{-1}$ におけるR5のPDAは, MPAのポテンシャルに従属したと考えられる。Rinzemaら¹⁰⁾ (上述) は, プロピオン酸分解能低下の原因として, 硫化物による水素除去者 (水素資化性MPB, SRB) の活性阻害を挙げている。

高濃度硫酸塩で培養したR4において, バイアル1のPDAは無視できるレベルとなった。R4のPDAは, 別なバイアル活性試験で, 水素資化性メタン生成活性細菌株 *Methanobacterium* sp. を水素除去者として十分量添加 (Table 2, 水素資化性MPAがゼロであったため添加した) しても高まらなかった (データ不提示)。一方, 硫酸塩の存在するバイアル3の環境下でR4のPDAは, $1.00\text{g COD}\cdot\text{gVSS}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ と混合培養汚泥の活性としては比較的高いレベルであった。このことから, R4内ではPro-SRBがプロピオン酸分解者のニッチを獲得していたといえる。

これらの結果より, Fig. 7から, Pro-PRBの硫化水素耐性が, Pro-SRBのそれよりも高い傾向にあるといえる。Fig. 6のR3とR5で観察された硫化水素濃度に対してPDAが一度上昇しピークを有する特性は, Pro-PRBと水素除去者 (ここではH-MPB) の共生系によるプロピオン酸分解過程にみられることがわかった。一方, R4の結果から, Pro-SRBによるPDAは, 硫化水素濃度の上昇に準じて連続的に低下する性質を有することがわかった。Reisら¹¹⁾は, 硫化水素がSRB (*Disulfovibrio* sp.) の生育に与える影響について, バイアル回分実験より評価した。その結果, 乳酸基質を利用する硫酸塩還元活性は, 硫化水素濃度の生成蓄積 (上昇) に準じて低減し, $547\text{mgH}_2\text{S}\cdot\ell^{-1}$ で完全に阻害された。

以上の結果より, パルミチン酸 (高級脂肪酸), プロピオン酸 (揮発性脂肪酸) の分解活性に対する硫化水素濃度の影響は次のように整理できる: ①硫化水素はPRBの活性よりも, SRBの活性に対する阻害性が高い, ②硫化水素濃度の増加は, SRBの活性を連続的に低下させる, ③硫化水素濃度の増加は, PRBの活性をいちど上昇させたのちに低下させる。

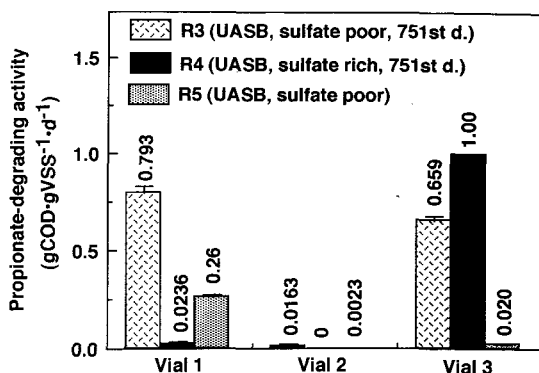


Fig.7 Propionate-degrading activity for sludge grown in R3, R4 and R5 under three kinds of vial condition following (vial phase condition, gas / liquide; actable bacteria).

Vial 1: N_2 / Propionate; Pro-PRB and MPB.

Vial 2: H_2 / Propionate and CHCl_3 ; not actable.

Vial 3: H_2 / Propionate, SO_4^{2-} and CHCl_3 ; SRB.

§4 まとめ

脂肪酸の嫌氣的分解に及ぼす硫化物の影響を、パルミチン酸とプロピオン酸を対象脂肪酸として、5種の培養汚泥 (R1 (培養時硫化水素濃度: $1 \sim 15 \text{ mg} \cdot \ell^{-1}$) と R2 (同: $50 \sim 100 \text{ mg} \cdot \ell^{-1}$) はパルミチン酸を培養における主要炭素源とし完全混合型反応槽で培養した。R3 (流入硫酸塩/COD 比 (w/w): $1/20$), R4 (同: $1/0.67$), R5 (同: $1/50$) は、糖・有機酸混合基質を UASB 反応器に供給して培養した。) について評価した結果以下の知見が得られた。

- (1) R1 と R2 によるパルミチン酸からの酢酸生成活性 (APA) の比率が、100%, 50%, 5% 以下、となる硫化水素濃度 ($\text{mgH}_2\text{S} \cdot \ell^{-1}$) は、それぞれ、次のレベルであった; R1: 50, 150, 470; R2: 80, 360, 450。また、R2 では、 $180 \text{ mgH}_2\text{S} \cdot \ell^{-1}$ で最大活性 (コントロールの APA の 130% 値) を得た。
- (2) R3, R4, R5 によるプロピオン酸分解活性の比率が、100%, 50%, 5% 以下、となる硫化水素濃度 ($\text{mgH}_2\text{S} \cdot \ell^{-1}$) は、それぞれ、次のレベルであった; R3: 1, 280 以上、280 以上; R4: 30, 150, 510; R5: 1, 180, 340。また、R3, R4, R5 の最大活性は、それぞれ、硫化水素濃度、80 (コントロールの PDA の 220%), 30 (同 100%), 60 (同 120%) $\text{mgH}_2\text{S} \cdot \ell^{-1}$ で得られた。
- (3) 硫化水素は、水素生産性酢酸生成細菌 (PRB) よりも硫酸塩還元細菌 (SRB) のプロピオン酸、パルミチン酸分解活性に対する阻害性が高い。
- (4) 硫化水素濃度の増加は、プロピオン酸資化性 SRB の活性を連続的に低下させる。
- (5) PRB の活性は、硫化水素濃度 $50 \sim 200 \text{ mg} \cdot \ell^{-1}$ では高められ、 $200 \text{ mg} \cdot \ell^{-1}$ 以上では阻害されることが示唆できた。

参考文献

- 1) 山口隆司, 原田秀樹, 桃井清至, 曾 怡禎 (1995) 高級脂肪酸の嫌氣的分解過程における硫酸塩還元菌の生態学的役割, 水環境学会誌, Vol.18, 499-510.
- 2) 山口隆司, 原田秀樹, 曾 怡禎, 桃井清至 (1996) 高級脂肪酸の嫌氣的分解過程における硫酸塩還元細菌とメタン生成細菌の基質利用特性, 水環境学会誌 (審査中).
- 3) Harada, H., Uemura, S. and Momonoi, K. (1994) Interaction between sulfate-reducing bacteria and methane-producing bacteria in UASB reactors fed with low strength wastes containing different levels of sulfate, Wat. Res., 28, 355-367.
- 4) Widdel, F. (1988) Microbiology and ecology of sulfate-and sulfur-reducing bacteria, in Biology of Anaerobic Microorganisms (Ed. Zehnder, A. J. B.), Wiley Interscience, 469-584.
- 5) 嶋田 協 (1989) 硫酸還元菌による抗排水中の重金属処理, 用水と廃水, 31, 440-444.
- 6) Clancy P. B., N. Vekataraman and L. R. Lynd (1991) Biochemical Inhibition of Sulfate Reduction in Batch and Continuous Anaerobic Digesters, Oral Paper Preprints (Sixth International Symposium on Anaerobic Digestion in Brazil), 43-61.
- 7) 森 忠洋 (1989) コンクリート構造物の微生物腐食, 用水と廃水, 31, 391-396.
- 8) 社団法人日本下水道協会, 下水試験方法 1984年版.
- 9) 花木啓祐, 松尾友矩, 長瀬道彦 (1981) 嫌氣性消化における脂肪酸の代謝, 下水道協会誌, 18, 30-39.
- 10) Reis M. A. M., Almeida J. S., Lemos P. C., Carrondo M. J. T. (1992) Effect of hydrogen sulfide on growth of sulfate reducing bacteria, Biotechnol. Bioeng., 40, 593-600.
- 11) Rinzema A. and Lettinga G (1988) The effect of sulphide on the anaerobic degradation of propionate, Environ. Technol. Lett., 9, 83-88.

(平成8年4月15日受付)

平成7年度(1月～12月)本校教官による他誌発表論文一覧表

著 者 名	論 文 題 目	発表誌名または発表会名
岩根 三邦	プラトン『リュシス』におけるフィリアについて	広島倫理思想史学会(1995年8月, 下関)
高橋 進(龍谷大) 木原 滋哉 他3名	J. リンス『全体主義体制と権威主義体制』(共訳)	法律文化社(1995年7月)
宇根 俊範	「郡山城下町遺跡出土木簡」の人名について	「芸備地方史研究」(197号, 1995年7月)
宇根 俊範	平安貴族	「日本古代史研究事典」(東京堂出版 1995年9月)
多賀 正夫(近大理工) 今井 勲 福田 隆典(近大院)	地中埋設熱交換パイプによる蓄熱及び集熱に関する研究	太陽/風力エネルギー講演論文集(1995年11月)
Y. KASAMATSU J. G. M. ARMITAGE (セントアンドリュース大, 英) J. S. LORD (セントアンドリュース大, 英) P. C. RIEDI (セントアンドリュース大, 英) D. FORT (バーミンガム大, 英)	Evidence for a Magnetic Moment at the Lu site of LuFe_2	Journal of Magnetism and Magnetic Materials (Vol. 140-144, 1995)
Y. KASAMATSU K. KOJIMA(広大総) T. HIHARA(広大総)	Hyperfine Fields at some 4d, 5d and 4f Impurities in Ferromagnetic GdZn and GdCd	Journal of Magnetism and Magnetic Materials (Vol. 140-144, 1995)
笠松 義隆 平岡 耕一(大分大) 小島 健一(広大総) 檜原 忠幹(福山大)	Mn_2Sb の NMR	日本物理学会 秋の分科会講演概要集(1995年9月, 大阪)
小山 通栄 八方 直久 田村 昌望(広大理) 原田 二郎(広大理) 佐藤 仁(広大理) 三原 隆弘(広大理) 谷口 雅樹(広大理) 植田 義文(徳山高専)	CrSe の共鳴光電子分光	日本物理学会 講演概要集(1995年3月, 横浜)

著 者 名	論 文 題 目	発表誌名または発表会名
M. Koyama N. Happo (広大理) M. Tamura (広大理) J. Harada (広大理) M. Mihara (広大理) A. Furuta (広大理) M. Nakatake (広大理) H. Sato (広大理) M. Taniguchi (広大理) Y. Ueda (徳山高専)	Photoemission and Ultraviolet Inverse-Photoemission Studies of CrSe with NiAs-type Crystal Structure	The 11th International Conference on Vacuum Ultraviolet Radiation Physics (1995年8月, 東京)
小山 通栄 八方 直久 (広大理) 田村 昌望 (広大理) 原田 二郎 (広大理) 佐藤 仁 (広大理) 三原 隆弘 (広大理) 谷口 雅樹 (広大理) 植田 義文 (徳山高専)	CrSe の電子状態の研究	日本放射光学会 (1995年1月, つくば)
田邊 達雄	教育機器を取り入れた英語教育につ いての一考察-CAIの場合-	全国高等専門学校英語教育学会 研 究論集 (第15号, 1996年2月)
田邊 達雄	コンピュータを組みあわせた英語授 業	マルチメディア時代での新しい教育 研究会 (1995年2月, 広島)
田邊 達雄	英語教育におけるメディアの活用	平成7年度教育方法改善等共同プロ ジェクト (1995年7月, 愛媛)
田邊 達雄	教育機器を取り入れた英語教育 (特 にCAI) についての一考察	全国高等専門学校英語教育学会第19 回大会 (1995年9月, 京都)
川尻 武信	'A Study of Textbook Evalua- tion'	松村幹男先生退官記念『英語教育学 研究』(1995年3月, 溪水社)
京免 進 碓井 建夫 (阪大) 布川 道夫 (ダイキン工業) 近江 宗一 (元阪大)	自然対流を伴う水平円管内の層流脈 動流れ (第1報, 速度分布)	日本機械学会論文集B編 (61巻582 号, 1995年2月)
京免 進 碓井 建夫 (阪大) 布川 道夫 (ダイキン工業) 野村 高広	水平円管内の層流脈動流れ (自然対 流を伴う場合の数値解析)	日本機械学会講演論文集 (No.955-2, 1995年11月)

著 者 名	論 文 題 目	発表誌名または発表会名
藤井 亮 (近畿大) 長崎 羊一 (近畿大) 野原 稔 寺内 喜男 (福山大)	すぐばかさ歯車の動特性に及ぼす軸受の影響	日本機械学会論文集 (C編) (61巻581号, 1995年1月)
岩本 英久 関 洲二 (岡大医)	血管結紮のための結紮糸における摩擦係数の相違による血管損傷	日本胸部外科学会関西地方会学術集会 (1995年6月, 神戸)
Hidehisa IWAMOTO Shuji SEKI (岡大医)	Dynamical actions of surgical ligation as factors traumatizing the vascular wall	International society of Cardio-Thoracic surgeons the eighth annual meeting (July, 1995, Akita)
Hidehisa IWAMOTO Shuji SEKI (岡大医)	Simulation study for effects of ligating materials with different friction coefficients on traumatization of the ligated vascular wall	International surgical week ISW95 (August, 1995, Lisbon, Portugal)
Shuji SEKI (岡大医) Hirokazu OSAKI (岡大工) Hidehisa IWAMOTO	Surgeon's expertise representation of thoracotomy by means of artificial intelligence	International surgical week ISW95 (August, 1995, Lisbon, Portugal)
灘野 宏正 河野 正来 中迫 正一 岩野 利彦 (同和鉱業)	四球試験におけるすずめっき熱拡散処理層の摩擦特性 (グリース潤滑におけるステンレス鋼 SUS440C 材の場合)	日本機械学会中国四国支部第33期総会・講演会 講演論文集 (No.955-1, 1995年3月, 松山)
灘野 宏正 中迫 正一 河野 正来	四球試験におけるすずめっき熱拡散処理層の摩擦特性 (二硫化モリブデンを添加したグリースの場合)	日本設計工学会中国支部講演論文集 (No.13, 1995年6月, 広島)
中迫 正一 灘野 宏正 河野 正来	すべり接触におけるコーティング層を有する接触体の表面温度 (三次元熱流による温度計算)	日本機械学会第73期全国大会講演論文集 (Vol.IV, No.95-10, 1995年9月, 福岡)
灘野 宏正 河野 正来 中迫 正一 岩野 利彦 (同和鉱業)	高真空中における平歯車の摩擦・摩耗に関する研究 (第1報, ステンレス鋼 SUS304材の場合)	日本機械学会論文集 C編 (61巻589号, 1995年9月)
河野 正来 灘野 宏正 中迫 正一 岩野 利彦 (同和鉱業)	すずめっき熱拡散処理層を施したステンレス鋼歯車の負荷能力	日本機械学会論文集 C編 (61巻591号, 1995年11月)
灘野 宏正 中迫 正一 河野 正来	四球試験におけるすずめっき熱拡散処理球の焼付き強さ (二硫化モリブデンを添加したグリースの場合)	日本機械学会論文集 C編 (61巻592号, 1995年12月)

著 者 名	論 文 題 目	発表誌名または発表会名
K. Tanaka (Ehime univ) A. Shimizu (Ehime univ) S. Shibata (Ehime univ) Y. Yamada T. Yamamoto (Okayama Prefectural univ)	IMPROVED SCHEME OF ADAPTIVE POLE-ASSIGNMENT CONTROL FOR PNEUMATIC SERVO SYSTEM	5th IFAC Symposium ACASP '95 (Budapest, Hungary June, 1995)
山田 祐士 田中 幹也 (愛媛大) 清水 顯 (愛媛大)	空気圧サーボ系のマルチレート適応 極配置制御	日本機械学会第73期全国大会講演論 文集 (V) (1995年9月, 福岡)
山崎 勉	磁界中円筒ホロー陰極の発光	日本物理学会 1995年秋の分科会 (1995年9月, 堺)
山崎 勉	グロー放電の陰極近くの電子につい ての一考察	電気・情報関連学会中国支部連合大 会 (1995年10月, 福山)
原田 一彦 (広島短) 山崎 勉	円筒ホロー陰極の径方向発光分布	広島電機大学・広島自動車工業短期 大学研究報告 (第28巻, 1995年12月)
黒木 太司	ミリ波回路の設計とその応用技術	(株)日本テクノセンター社 (1995年4月)
黒木 太司	NRDガイドを用いた60GHz帯 PCM トランシーバ	東北大学電気通信研究所共同プロジェ クト研究 (1995年7月)
黒木 太司	ミリ波回路設計の基礎と応用	(株)日本工業技術センター社 (1995年8月)
黒木 太司 松川 貴徳	LSE ₀₁ モードを使用した高誘電率 NRDガイドのミリ波伝送特性	電気・情報関連学会中国支部連合大 会 (1995年10月, 広島)
黒木 太司	ミリ波車載レーダの開発動向 第4章「NRDガイド技術を使ったレー ダの開発」	(株)日本工業技術センター社 (1995年10月)
黒木 太司	NRDガイド技術	(株)京セラテクノセミナー (1995年11月, 鹿児島)
若月 政幸 (山大工) 横沼 実雄 草田 祐一 (山大工) 小柳 剛 (山大工) 松原 覚衛 (山大工)	Mn _{1-x} Cr _x Te 薄膜のマグノン・ドラッ グ効果	日本応用磁気学会誌 (Vol.19, No.3, 1995)

著 者 名	論 文 題 目	発表誌名または発表会名
若月 政幸 (山大工) 横沼 実雄 草田 祐一 (山大工) 小柳 剛 (山大工) 松原 覚衛 (山口東京理大)	$Mn_{1-x}Cr_xTe$ 薄膜 ($0 \leq x < 0.3$) の 熱電気的特性のCr 濃度依存性	第42回応用物理学関係連合講演会概 要集 (1995年3月, 東京)
若章 政幸 (山大工) 草田 祐一 (山大工) 小柳 剛 (山大工) 横沼 実雄 松原 覚衛 (山口東京理大)	$Mn_{1-x}Cr_xTe$ ($0 \leq x \leq 0.06$) 薄膜の 電子輸送現象	日本物理学会 秋の分科会 (1995年9月, 大阪)
若月 政幸 (山大工) 横沼 実雄 草田 祐一 (山大工) 小柳 剛 (山大工) 松原 覚衛 (山口東京理大)	$Mn_{1-x}M_xTe$ 薄膜 ($M = Cr, Fe, Ni,$ Co) の熱電気的特性	第19回日本応用磁気学会学術講演会 概要集 (1995年, 東京)
T. Koyanagi (Engng. Yamaguchi Univ.) M. Yokonuma M. Wakatsuki (Engng. Yamaguchi Univ.) K. Matsubara (Tokyo Science Univ. in Yamaguchi)	Thermoelectric Properties of $Mn_{1-x}Cr_xTe$ Films	Extended Abstract of Physics and Applications of Spin-related Phenomena in Semiconductors (1995. 12, Tokyo)
板東 能生 (広大) 前田 康臣 (広大) 高畠 敏郎 (広大) 藤井 博信 (広大) S. A. M. Mentink (Leiden Univ.) J. A. Mydosh (Leiden Univ.)	六方晶ウラン化合物の熱電能	日本物理学会講演概要集 (1995年秋の分科会 第3分冊) 日本物理学会 秋の分科会 (1995年9月, 大阪)
T. Takabatake (広大) H. Tanaka (広大) T. Yoshino (広大) Y. Bando (広大) H. Fujii (広大) T. Fujita (広大) H. Shida (東北大) T. Suzuki (東北大)	Gap formation in single-crystal $CeRhSb$	Physica B (206&207, 1995)

著 者 名	論 文 題 目	発表誌名または発表会名
G. Nakamoto (広大) T. Takabatake (広大) Y. Bando (広大) H. Fujii (広大) K. Izawa (広大) T. Suzuki (広大) T. Fujita (広大) A. Minami (広大) I. Oguro (東大) L.T.Tai, A.A. Menovsky (Amsterdam Univ.)	Effect of impurities on the anisotropic transport properties of CeNiSn	Physica B (206&207, 1995)
Y. Bando (広大) T. Takabatake (広大) H. Fujii (広大) G. Kido (広大)	Suppression of the energy gap in CeRhSb by partial substitution of Pd for Rh	Physica B (206&207, 1995)
S. A. M. Mentink (Leiden Univ.) G. J. Nieuwenhuys (Leiden Univ.) A. A. Menovsky (Leiden Univ.) J. A. Mydosh (Leiden Univ.) K. Sugiyama (広大) Y. Bando (広大) T. Takabatake (広大)	Magnetic phase diagram and low-dimensional excitations of hexagonal UNi ₄ B	Journal of Magnetism and Magnetic Materials (140-144, 1995)
板東 能生 (広大)	セリウム化合物及びウラン化合物の熱電能	広島大学総合科学部紀要IV理科編 (第21巻)
小堀 慈久 八木 則男 (愛大工) 石野 浩司 (ショーボンド)	試作機によるまさ土及び根系の引張強度について	第47回土木学会中国支部研究発表会概要集 (1995年6月, 福山)
小堀 慈久 八木 則男 (愛大工) 守谷 勝利 (極東工業) 定成 恵子 (広島市)	不攪乱土の透水係数について	第47回土木学会中国支部研究発表会概要集 (1995年6月, 福山)
小堀 慈久 八木 則男 (愛大工) 南條 英夫 (中国電力)	不攪乱まさ土のせん断特性について	第47回土木学会中国支部研究発表会概要集 (1995年6月, 福山)
小堀 慈久 八木 則男 (愛大工) 栗根 祐樹 (日建コンサルタント)	不攪乱まさ土の力学的性質について	第30回土質工学会研究発表会発表概要集 (1995年7月, 金沢)

著 者 名	論 文 題 目	発表誌名または発表会名
Norio YAGI (愛大工) Ryuichi YATABE (愛大工) Shigehisa KOBORI	Estimation of strength parameters of decomposed granite soil using portable cone penetration test.	CPT'95, International Symposium on Cone Penetration Testing, Swedish Geotechnical Society, (October, 1995, Linköping, Sweden)
Shigehisa KOBORI Norio YAGI (愛大工) Ryuichi YATABE (愛大工)	A Study of Sequential Changes in the Hazard Conditions of Slope Failures.	Symposium on Natural Hazard and Environmental Geotechniques, Asian Institute of Technology, Southeast Asian Geotechnical Society, (November, 1995, Bangkok, Thailand)
八木 則男 (愛大工) 榎 明潔 (鳥大工) 小堀 慈久 矢田部龍一 (愛大工)	根系を含む不攪乱まさ土の強度特性	地すべり学会論文集 (第32巻第4号, 1995)
市坪 誠 田澤 榮一 (広大工) 竹村 和夫	Colour Transition of Treated Mortar Surface due to Soiling	Transactions of the JCI (Vol.16, 1995年3月)
市坪 誠 竹村 和夫 河合 研至 (広大工)	モルタルの色調変化に及ぼす材料の影響	第49回セメント技術大会講演集 (1995年5月)
竹村 和夫 市坪 誠 小澤満津雄 (岐大)	モルタル表面の水分挙動に関する研究	第47回土木学会中国支部研究発表会講演概要集 (1995年5月, 福山)
市坪 誠 竹村 和夫	化粧型枠を用いたモルタルの色調変化に関する研究	第47回土木学会中国支部研究発表会講演概要集 (1995年5月, 福山)
河合 研至 (広大工) 市坪 誠 小竹 森浩 (広大工) 高源 英子 (広大工)	微生物によるコンクリートの表面汚染機構	第47回土木学会中国支部研究発表会講演概要集 (1995年5月, 福山)
市坪 誠 加藤 文教 (ヒロコン) 山根 武志 (山大工) 今田 寛典 (呉大)	地域特性を活かした車両系サインに関する研究—一般国道375号におけるサイン—	第47回土木学会中国支部研究発表会講演概要集 (1995年5月, 福山)
小竹 森浩 (広大工) 田澤 榮一 (広大工) 河合 研至 (広大工) 市坪 誠	微生物によるコンクリートの表面汚染機構に関する研究	コンクリート工学年次論文報告集 第17巻 第1号 (1995年6月)

著 者 名	論 文 題 目	発表誌名または発表会名
市坪 誠 田澤 榮一（広大工） 竹村 和夫 河合 研至（広大工）	モルタルの色調変化に及ぼす表面形状の影響	コンクリート工学年次論文報告集 （第17巻 第1号, 1995年6月）
市坪 誠 竹村 和夫	配合及びセメント成分がモルタルの色調変化に及ぼす影響	土木学会第50回年次学術講演会講演概要集 第5部（1995年9月）
市坪 誠 田澤 榮一（広大工） 竹村 和夫	モルタルの色調変化に及ぼす材料の影響	セメント・コンクリート論文集 （No.49, 1995年12月）
山口 隆司 原田 秀樹（長岡技科大） 桃井 清至（長岡技科大） 曾 怡禎（長岡技科大）	高級脂肪酸の嫌氣的分解過程における硫酸塩還元菌の生態学的役割	水環境学会誌（Vol.18巻6号, 1995年6月）
山口 隆司 原田 秀樹（長岡技科大） 桃井 清至（長岡技科大）	硫酸塩還元菌の発酵特性とプロピオン酸分解寄与度の評価	土木学会第50回年次学術講演会講演概要集（1995年9月, 松山）
山口 隆司 原田 秀樹（長岡技科大） 桃井 清至（長岡技科大）	プロピオン酸の嫌氣的分解過程における硫酸塩還元菌の役割	第29回日本水環境学会年会講演集 （1995年3月, 広島）
芳賀 保夫（福山大工） 松浦 誠（広大名誉教授） 西村 光正	岡山県地盤図'95	「中国地方基礎地盤研究会」編 （1995年3月）
藤井 健	室内の音源近くに配置した吸音面による減音について	日本建築学会大会学術講演梗概集 （1995年8月, 北海道）
福原 安洋 平田 研二 （広島ガスリビング） 嶋津 孝之（広大工） 荒木 秀夫（広大工）	微粉末を用いたコンクリートに関する研究	日本建築学会中国支部研究報告集 （第19巻, 1995年3月）
正野崎昭二 岩下 恒雄（愛産大） 坂田 弘安（愛産大）	連層耐震壁の剛性低下について	日本建築学会大会学術講演会梗概集 （1995年8月, 北海道）
篠部 裕	企業都市における中核企業の盛衰に伴う都市施設整備に関する研究	学位論文（豊橋技術科学大学）
篠部 裕 瀬口 哲夫（豊橋技科大）	中核企業の衰退に伴う炭鉱都市の地域再整備に関する研究－長崎県高島町における産官の役割に着目して－	日本建築学会大会学術講演梗概集 F-1（1995年8月, 北海道）

著 者 名	論 文 題 目	発表誌名または発表会名
篠部 裕 瀬口 哲夫 (豊橋技科大)	中核企業の衰退に伴う炭鉱都市の地域再整備に関する研究－長崎県高島町における産官の役割に着目して－	日本都市計画学会学術研究論文集 (No.30, 1995年)
間瀬 実郎 小林 隆暁	鉛筆素描調の3次元CGによる建築の表現	日本建築学会第18回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集 (1995年12月)
間瀬 実郎 小林 隆暁	絵のような3次元CGに関する研究	平成7年度日本建築学会大会学術講演梗概集A-2 (1995年8月, 北海道)
間瀬 実郎	スケッチ機能を持つ3次元CADの仕様について	日本建築学会中国支部研究報告 (第19巻, 1995年3月)
松野 一成 角 徹三 (豊橋技科大) Agussalim (豊橋技科大) 松井 洋和 (豊橋技科大)	高強度RCはりのせん断抵抗性状および付着割裂破壊との関連性	コンクリート工学年次論文報告集 (第17巻 第2号, 1995年6月)
Agussalim (豊橋技科大) T. Kaku (豊橋技科大) K. Matsuno H. Matsui (豊橋技科大)	Shear Resistant Behavior of Beam with High Strength Concrete under Monotonic Loading	コンクリート工学年次論文報告集 (第17巻 第2号, 1995年6月)
松野 一成 角 徹三 (豊橋技科大) Agussalim (豊橋技科大) 松井 洋和 (豊橋技科大)	高強度RC部材のせん断抵抗性状および付着割裂性状	日本建築学会学術講演梗概集 C-2 構造Ⅳ (1995年9月, 北海道)
松井 洋和 (豊橋技科大) 角 徹三 (豊橋技科大) Agussalim (豊橋技科大) 松野 一成	単調載荷を受ける高強度RC部材のせん断抵抗性状 (その1) 実験概要	日本建築学会学術講演梗概集 C-2 構造Ⅳ (1995年9月, 北海道)
角 徹三 (豊橋技科大) 松井 洋和 (豊橋技科大) Agussalim (豊橋技科大) 松野 一成	単調載荷を受ける高強度RC部材のせん断抵抗性状 (その2) 実験結果及び検討	日本建築学会学術講演梗概集 C-2 構造Ⅳ (1995年9月, 北海道)

編 集 委 員

田	邊	達	雄
小	山	通	榮
岩	本	英	久
綿	井	伸	爾
山	口	隆	司
間	瀬	実	郎

呉工業高等専門学校

研 究 報 告

第32巻 第1号 (1996)

(通巻 第58号)

平成8年8月 印刷

平成8年8月 発行

編集者
発行者

呉工業高等専門学校

〒737 呉市阿賀南2丁目2-11

電話 (0823) 73-8406

印刷所 総合印刷 青木印刷所

〒729-25 広島県豊田郡安浦町内海1581

電話 (0823) 84-2104

MEMOIRS OF THE KURE NATIONAL COLLEGE OF TECHNOLOGY

Vol. 32, No. 1 (Consecutive No. 58)
August, 8th Year of Heisei (1996)

CONTENTS

1. The End of the Tether from the View Point of a Visual Aspect	Tatsuo TANABE	1
2. Electronic Structures of CrSe with NiAs-type Crystal Structure	Michie KOYAMA Naohisa HAPPO Hitoshi SATO Akihito FURUTA Masashi NAKATAKE Masaki TANIGUCHI Yoshifumi UEDA	29
3. Operation Control of Self-Support Robot by One Chip Microcomputer	Minoru NOHARA	33
4. Operation Control of Apparatuses by Programmable Controller and Microcomputer	Minoru NOHARA	49
5. Emission Spectra of a Copper Discharge Plasma	Tsutomu YAMAZAKI	63
6. Evaluation of Soiling of Concrete Surface due to Adhesive Substances	Makoto ICHITSUBO Kazuo TAKEMURA Takashi YAMAGUCHI Koji KOMATSU Ryutaro ITAGAKI	75
7. Effects of sulfide concentration on anaerobic degradation of palmitate and propionate	Takashi YAMAGUCHI Makoto ICHITSUBO Hideki HARADA	81
List of Papers Published or Read Outside The Kure National College of Technology in 1995		91