

平成 8 年 度

(第 10 回)

若い研究者を育てる会研究発表会

研 究 論 文 集

平成 9 年 3 月 14 日 (金)

於：名鉄トヤマホテル

若い研究者を育てる会

The Educational Society for Young Research Workers of Technology, in TOYAMA

本書は下記の研究機関の指導のもとに作成された。

記

富山県工業技術センター機械電子研究所

富山大学工学部

富山県立大学工学部

ご あ い さ つ

会長 中 田 守 人

今年度、「若い研究者を育てる会」は10年目に入りました。その間、参加されました才能に溢れ感性豊かな研究者、リーディングカンパニーへの夢に燃えた企業、知恵と秩序を、そして社会人教育に尽力された大学、技術開発の中に企業の発展を求められた富山県工業技術センター及び富山県関係者の皆様から大きなご支援を賜りましたこと心よりお礼申し上げます。



10年間も続けることができたのは、皆様の技術開発への厚い情熱と同時に新技術がもたらす将来への大きな期待があったのだらうと思います。今後も尚一層のご理解とご協力をお願い致します。更に、10年間の10冊の研究誌が技術立県富山をこれからも築かれる若い人々の貴重な財産となり、未来への礎となることを心から願い、この研究会から巣立ちされた大勢の研究者の方々が企業と社会に貢献されることを切望する次第です。

さて、現在は何か非常に大きな揺れを感じる時代でもあります。西から東から言葉では言い尽くせない本当に大きな流れが日本へと確実に押し寄せています。10年前に日本から出て行った経済という波が今、そのエネルギーを膨らませた巨大なうねりとして日本へ戻って来るのを鮮明に感じ取れます。新しい生命の躍動にも似たその潮流を乗り切って21世紀も発展を遂げるのか、或いは潮流の中に沈没するのか、その鍵は政治と経済の中でなく、経済と科学技術の中で見つかるものと思います。時の流れと共に「若い研究者を育てる会」は研究者の育成と同時に私どもの夢をも育てているのは自然の成り行きかも知れません。

研究の概要

富山県工業技術センター 工学博士 谷野 克巳

本書は、『若い研究者を育てる会』に参加する企業（会員企業数20社）の研究者が6つの研究課題とグループを定め、平成8年5月から富山県工業技術センター機械電子研究所において6グループ（6テーマ）が実施してきた研究の成果をまとめたものである。なお、6テーマの内2テーマについては、富山大学工学部および富山県立大学工学部が研究指導協力を行った。



ここでは、まず最初に富山県工業技術センター機械電子研究所で実施した6テーマの研究の内4テーマの研究概要について述べ、次に富山大学工学部が研究指導協力した1テーマの研究概要、最後に富山県立大学工学部が研究指導協力した1テーマの研究概要について述べる。

- ①「形状記憶合金膜を用いたマイクロポンプの開発」の研究グループ（参加企業3社）では、NiTi系の形状記憶合金（SMA）膜を用いたマイクロポンプを試作し、各種用途のマイクロポンプへの応用の可能性を探った。

この研究から、(1)SMA膜としてスパッタリングで得た薄膜を用いたところ、形状回復力が小さく、ポンプは動作しない、(2)圧延膜を用いた場合は形状回復力が大きく、ポンプは動作する、および(3)マイクロポンプの性能は、SMA膜への通電時間が15秒以上の時、 $0.7\sim 0.8\text{mm}^3/\text{サイクル}$ （1サイクル=通電時間 $\times 6$ ）の流量であった、などの成果を得た。

- ②「鍛造成形の簡易シミュレーションに関する研究」の研究グループ（参加企業1社）では、冷間鍛造用の金型設計段階において、設計技術者に解析に関する専門知識がない場合でも、金型内の応力分布や材料の流れを正確に評価できるようにするための簡易成形シミュレーションの開発を試みた。

この研究から、(1)初期形状およびリゾニング要素作成時に自動要素分割を導入し、これにスムージングなどの要素特性を整える機能の付加とリゾニングの頻繁な実施、ならびに要素寸法を小さく指定するなどによって、比較的精度の高いシミュレーション結果が得られる、(2)接触接点をコーナー部で滑らかに移動させる、接点解離の可能性のある部分を指定して解離条件を部分的に設定するなどの修正を行なうことにより、解析効率は大幅に改善される、および(3)昨年度開発したものと比較して、オペレーション量（時間）は1/5以下に削減した、などの成果を得た。

- ③「レドックス型太陽発電システムの開発（2）」の研究グループ（参加企業3社、公設試1機関）では、昨年度に引き続き、低価格、高性能のレドックス（酸化還元）型太陽電池の開発を最終目標として、今年度は色素修飾したTiO₂膜を用いて、液体電解質型太陽電池の性能に対して検討を加えた。

この研究から、(1)ゾル液だけのTiO₂膜と比較して、アナターゼ型TiO₂粉末を添加した膜では最大電力密度（Pmax）は約10倍、この膜を色素で修飾した場合は約150倍のPmaxが得られる、(2)TiO₂膜の膜厚が5 μm 程度で光電変換効率は最も良い、および(3)25,000ルクスの照度下で

の P_{max} は $2.8W/m^2$ であった、などの成果を得た。

- ④「多孔質シリコンの形成に関する研究」の研究グループ（参加企業2社）では、多孔質のシリコン（Si）膜の形成条件とフォトルミネッセンス（PL）特性との関係に検討を加え、この結果をもとにエレクトロルミネッセンス（EL）素子の開発を試みた。

この研究から、(1)多孔質Siに紫外光を照射することによって、約750nmにピークを持つ赤色光が明瞭に観測できる、(2)陽極化成時の電流密度を増加させると、PLスペクトルのピークは短波長側にシフトする、および(3)電極としてITO膜を形成したEL素子に電界を加えた時、可視発光が観測され、そのスペクトルにはPLよりも長波長成分が多かった、などの成果を得た。

富山大学工学部 工学博士 龍山 智榮

- ⑤「高輝度蓄光性蛍光板の開発」のグループ（参加企業2社）の研究においては、高輝度蓄光材料のセラミックス化、薄膜化に取り組んだ。高輝度蓄光材料は、塗料や樹脂などに混合し、一部ではすでに製品化されているが、機械的強度や耐熱性が悪く、また、混合できる量も限られている。本研究では、この蓄光材料の焼結条件と輝度、耐熱性の関係を明らかにするとともに、この材料を用いて透明かつ高輝度な蓄光薄膜の可能性について調べたものである。薄膜化については、透明な膜はできたものの蓄光性は示さなかった。これは、組成ずれや結晶性に問題があり、



今後の検討課題として残った。一方、セラミックスのほうはホットプレスによってほぼ緻密な焼結体が得られたものの、量産性を考えたドクターブレード法により作製したセラミックスは、粉碎した粉末を混合することで密度を上げることができた。しかし、光エネルギーは期待したほどは上がらず、乾式プロセス法や熱処理条件などが今後の課題として残される結果となった。

富山県立大学工学部 工学博士 山本 倫久

- ⑥「複数のロボットによる協調制御の研究」の研究グループ（参加企業2社）では、視覚機能をもった2台の搬送ロボットにおいて、目標に向かって進むマスターロボットを、スレーブロボットが一定の距離を保って追いかけるシステムの開発を試みた。

この研究から、(1)2台のロボットを試作した、(2)4つのLEDとCCDカメラを用いることにより、相手ロボットの相対位置を認識できることを確認した、(3)認識の精度は、距離100~300mmで誤差±5mm以内、回転角-20~30degで誤差±2deg以内、視線中心からのずれ±120mmで誤差±5mm以内であった、(4)相対位置を認識した結果よりニューラルネットを用いて自機の行動を決定し、モータドライバへ適切な出力信号を送っていることを確認した、などの成果を得た。



以上、本書は6つの独立した研究課題と結果から構成されているが、これらの研究は必ずしも完成されたものではなく、今後も本会もしくはそれぞれの企業などにおいて、継続して研究を進めていく必要があるものと考えている。また、過去10年間で実施した61テーマの成果はすでに関連学会で発表、もしくは今年中に発表を予定している。特許出願に関しては、本会の研究は必ずしも企業化を目的とはしていないにもかかわらず、今年度出願した1件を含めて、過去に共同で10件程度出願している。

また、本研究で得られた成果の中の幾つかのものは、企業化や生産ラインの自動化などに応用されている。従って、これらの研究を遂行する過程で得られた様々な成果は、本会会員企業ならびに本県産業の科学技術力、工業技術力向上と発展などのために十分に役立つものであることを確信している。

なお、本会の研究を推進するにあたり、内外の方々より多大なご助力、ご助言を賜わったことに対しまして、深く感謝の意を表します。

(谷野記)

平成9年3月

研究グループの構成

I. 「形状記憶合金膜を用いたマイクロポンプの開発」グループ

研究担当者	三松 克次 (㈱タカギセイコー)
	笹島 和明 ()
	田島 正康 (㈱タナカエンジニアリング)
	田中 篤 (北陸電気工業㈱)
研究指導者	鍋澤 浩文 (工業技術センター機械電子研)
	高林 外広 ()
	藤城 敏史 ()
	中川 章 ()
	谷野 克巳 ()

II. 「鍛造成形の簡易シミュレーションに関する研究」グループ

研究担当者	松井 裕昭 (㈱タナカエンジニアリング)
研究指導者	佐山 利彦 (工業技術センター機械電子研)
	清水 孝晃 ()
	谷野 克巳 ()

III. 「レドックス型太陽発電システムの開発 (2)」グループ

研究担当者	三井 清隆 (㈱タナカエンジニアリング)
	田畑 裕信 (中越合金鋳工㈱)
	市川 良雄 (富山軽金属工業㈱)
	長谷川益夫 (林業技術センター木材試験場)
研究指導者	角崎 雅博 (工業技術センター機械電子研)
	松田 敏弘 ()
	山崎 茂一 ()
	谷野 克巳 ()

IV. 「複数のロボットによる協調制御の研究」グループ

研究担当者	金田 淳也 (コーセル㈱)
	森田 裕之 (立山アルミニウム工業㈱)
研究指導者	藤城 敏史 (工業技術センター機械電子研)
	藤井 弘之 (")
	鍋澤 浩文 (")
	清水 孝晃 (")
	谷野 克巳 (")
	山本 倫久 (富山県立大学工学部)

V. 「多孔質シリコンの形成に関する研究」グループ

研究担当者	安田 純子 (コーセル㈱)
	石川 秀人 (北陸電気工業㈱)
研究指導者	松田 敏弘 (工業技術センター機械電子研)
	杉森 博 (")
	鍋澤 浩文 (")
	谷野 克巳 (")

VI. 「高輝度蓄光性蛍光板の開発」グループ

研究担当者	二見 泰雄 (三協アルミニウム工業㈱)
	佐野 仁一 (東洋化工㈱)
研究指導者	高林 外広 (工業技術センター機械電子研)
	二口 友昭 (")
	谷野 克巳 (")
	龍山 智榮 (富山大学工学部)

註：各グループ中、企業名は50音順

目 次

I. 形状記憶合金膜を用いたマイクロポンプの開発	1
1. 緒 言	1
2. マイクロポンプの概要および動作原理	2
3. 実験方法	3
4. 結果および考察	4
5. 結 言	6
II. 鍛造成形の簡易シミュレーションに関する研究	7
1. 緒 言	7
2. 鍛造成形シミュレーションの基礎研究	7
3. 簡易シミュレーションプログラムの概念	8
4. 自動要素分割による解析精度の検証	9
5. 接触判定アルゴリズムの修正	10
6. リゾーニング前処理プログラム	10
7. 簡易シミュレーションプログラムの評価	12
8. 結 言	14
III. レドックス型太陽発電システムの開発 (2)	15
1. 緒 言	15
2. レドックス型太陽電池	16
3. 試料の作製と実験方法	16
4. 結果および考察	18
5. 結 言	22
IV. 複数のロボットによる協調制御の研究	23
1. 緒 言	23
2. ロボットの概要	24
3. 搬送ロボットの設計	25
4. 実験結果および考察	27
5. 結 言	29

V. 多孔質シリコンの形成に関する研究	-----	30
1. 緒言	-----	30
2. 多孔質Siの形成と発光の原理	-----	30
3. 実験方法	-----	31
4. 結果と考察	-----	33
5. 結言	-----	37
VI. 高輝度蓄光性蛍光板の開発	-----	38
1. 緒言	-----	38
2. 蓄光性蛍光体の概要	-----	38
3. 実験方法	-----	39
4. 結果と考察	-----	41
5. 結言	-----	44
○各研究グループの研究風景	-----	付-1
○「若い研究者を育てる会」10年間の研究活動の足跡	-----	付-7
○「若い研究者を育てる会」10周年記念講演会の概要	-----	付-14
○第3回『中学・高校生の自作ミニチュアマシンサッカーゲームコンテスト』の概要	-----	付-15
○会員企業および研究幹事名簿	-----	付-16
○入会申込書	-----	付-17

I. 形状記憶合金膜を用いたマイクロポンプの開発

Development of a micro-pump using shape memory alloy film

田中 篤
TANAKA Atsushi

田島 正康
TAJIMA Masayasu

三松 克次
MIMATSU Yoshitsugu

笹島 和明
SASAJIMA Kazuaki

鍋澤 浩文
NABESAWA Hirohumi

高林 外広
TAKABAYASHI Sotohiro

藤城 敏史
FUJIKI Satoshi

中川 章
NAKAGAWA Akira

谷野 克巳
TANINO Katsumi

Abstract

Recently, micro-pump is necessary for various fields such as a small amount of drug transfusion for medical treatment, lubricating oil transfusion for industrial equipment, a slight amount of adhesive transfusion and bio-operation etc.. Shape memory alloy (SMA) films have many advantages for micro-actuators. For example, they generate larger force and larger stroke than other actuator materials. In this study, we fabricated a micro-pump by SMA film for power source, and tested its performance.

This micro-pump has a mechanism that SMA films actuate cylinders to pump up and pump out liquid. Therefore, flow rate of this micro-pump depend on stroke of cylinders.

A force of SMA film by sputtering was too small to actuate the micro-pump because of friction between cylinder and frame or wobble between cylinder and film. Therefore, rolled SMA film on the market that has a large force was adopted in this micro-pump.

As a result, flow rate of this micro-pump was $0.8\text{mm}^3/\text{cycle}$.

1. 緒言

近年、マイクロポンプは医療分野、産業分野等、様々な分野で利用が検討されている。医療分野では、一日に何回もの注射や点滴を毎日欠かさず投与しなければならない患者がおり、肉体的、身体的な苦痛を強いられている。このため、マイクロポンプ等を利用した体内埋め込み、または、携帯可能な小型の薬液供給システムの開発が期待されている。また、最近注目されている手術方法として、患者の体に小さな穴を開け、管状の内視鏡やレーザーメス等の医療器具を患部まで挿入して施術を行う方法があるが、その際に医療用接着剤を患部まで送り込む方法としてマイクロポンプ等が期待されている。

産業分野では、マイクロポンプを応用したインクジェットプリンターが一般に普及している。この他、メンテナンスフリー化が困難な機械の摺動部分に対してマイクロポンプによる潤滑油の自動供給化等、様々な分野で微量かつ流量制御の容易な高性能のマイクロポンプの開発が望まれている。

マイクロポンプの高機能化の一つとして形状記憶合金の利用が考えられる。形状記憶合金は動作ストロークが大きく、大きなトルクが得られるという特徴があり、これをマイクロポンプの動力源として利用した場合、従来のマイクロポンプと比較して微妙な流量調節が可能な優れた性能のものが得られることが期待できる。

本研究では、NiTi形状記憶合金膜を用いたマイクロポンプを試作し、性能を評価することにより、各種用途のマイクロポンプへの応用の可能性を探った。

2. マイクロポンプの概要および動作原理

本研究で動力源として用いる形状記憶合金（以下SMAと略記）の形状復元力の原理を説明する。一般の金属では弾性限界を超えた応力が加わると原子間に滑りが生じ、塑性変形を起こす。一方、SMAではMf点（冷却時、マルテンサイト変態が終了する温度）以下の温度で応力が加わると、マルテンサイト双晶界面に移動が起って変形する。すなわち、隣接原子の位置を変えることなく変形が進む。これを加熱すると、母相（オーステナイト相）への変態に伴って変形前の形状に戻る。

次に、本研究で作製したSMAの形状復元力を動力源とするマイクロポンプの動作原理を説明する。作製したマイクロポンプの概略図を図1に示す。このマイクロポンプには4本のシリンダーがあり、各シリンダーの下部にはバイアス膜、上部にはSMA膜が取り付けられている。Mf点以下の温度では、SMA膜

のヤング率が小さいため、バイアス膜の力によりシリンダーは閉じているが、SMA膜に電流を流して通電加熱するとSMA膜の温度が上昇し、As点以上の温度になるとSMA膜のヤング率が大きくなり、形状復元力がバイアス力に打ち勝って、これによりシリンダーが開く。電流をOFFにするとSMA膜は放冷し、Mf点以下の温度になると再びバイアス膜の力によりシリンダーは閉じるようになっている。図2は動作手順を示すが、各シリンダーを上下させることによりポンプを動作させている。シリンダーNo1、4は主として液体の逆流を防止するバルブの役割をし、シリンダーNo2、3は液体を吸い上げ、押し出す役割をする。

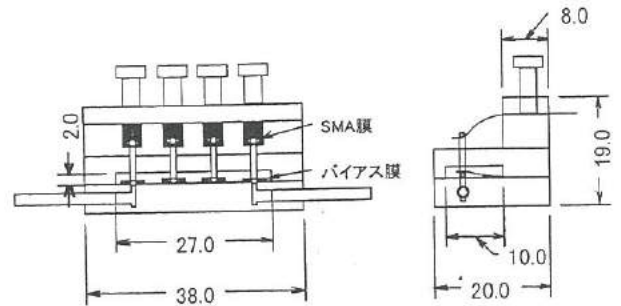


図1. マイクロポンプの概略図

Fig.1. Schematic of micro-pump.

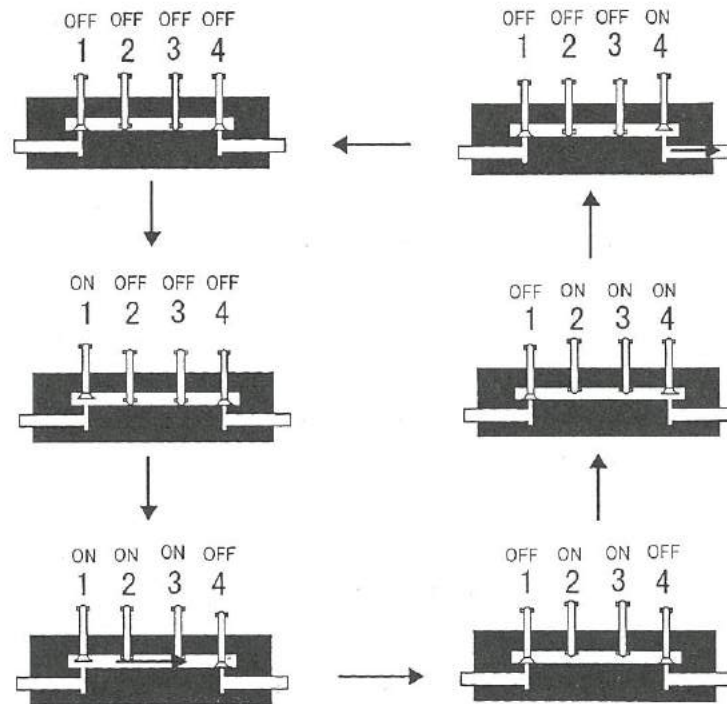


図2. ポンプの動作手順

Fig2. Action process of pump.

3. 実験方法

3.1 SMA膜およびバイアス膜

ポンプに用いるSMA膜として、NiTiのスパッタ膜および市販されている圧延膜を、バイアス膜として銅箔 ($t=0.02$ および 0.05mm) およびリン青銅 ($t=0.03\text{mm}$) を用いた。図3は用いたSMA膜及びバイアス膜の形状を示す。これらの膜の形状回復力及びバイアス力を調べるため、それぞれのSMA膜およびバイアス膜の変位と力との関係を求める実験を行った。図4は、その実験装置の概略図を示す。

SMA膜にシリンダーを取り付け、もう一方の端に糸を取り付けた。治具を引き上げる際に発生する力をロードセルによって測定する構造となっている。また、変位計をレベルゲージに取り付けた。レベルゲージを動かして、ロードセルおよび変位計の出力から、SMA膜の形状回復力と変位との関係を調べた。

また、バイアス膜のバイアス力と変位との関係も同様に調べた。

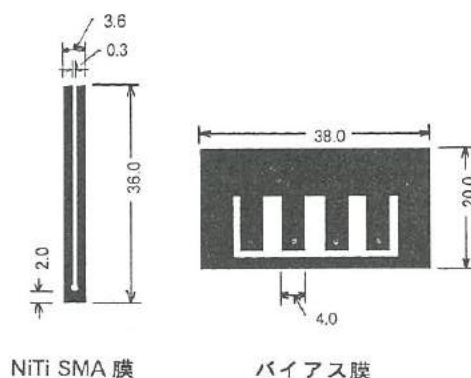


図3. 膜の形状

Fig.3. Shape of film.

3.2 ポンプ性能

ポンプ性能を測定するために、図5に示すような実験装置を用いた。図に示すマイクロポンプ制御システムにより膜の動作パターンおよび通電加熱時間を制御し、流量を測定した。

(1) ポンプの基本性能測定

シリンダーNo.2、3の動作によるポンプ本来の流量を測定するために、シリンダーNo.1、4の動作を手動操作（吸入、排出口のバルブ部分からのリークによる影響を避けるため）により、またシリンダーNo.2、3のSMA膜はパソコン制御によって動作させた。また、測定は5サイクルまで実施した。

(2) ポンプの流量測定

ポンプの流量を測定するため、パソコン制御により、シリンダーNo.1~4全てを図2の手順により動作させ、5サイクル終了後に流量を測定した。

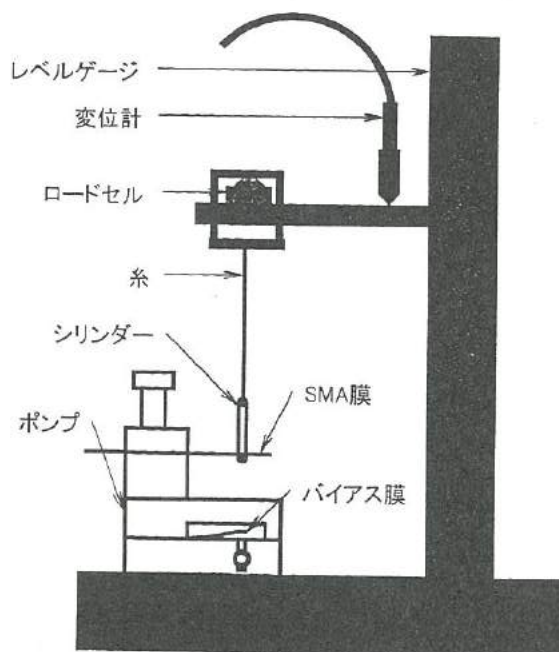


図4. 膜の変位と力との測定実験概略図

Fig.4. Measurement method for stroke and force of film.

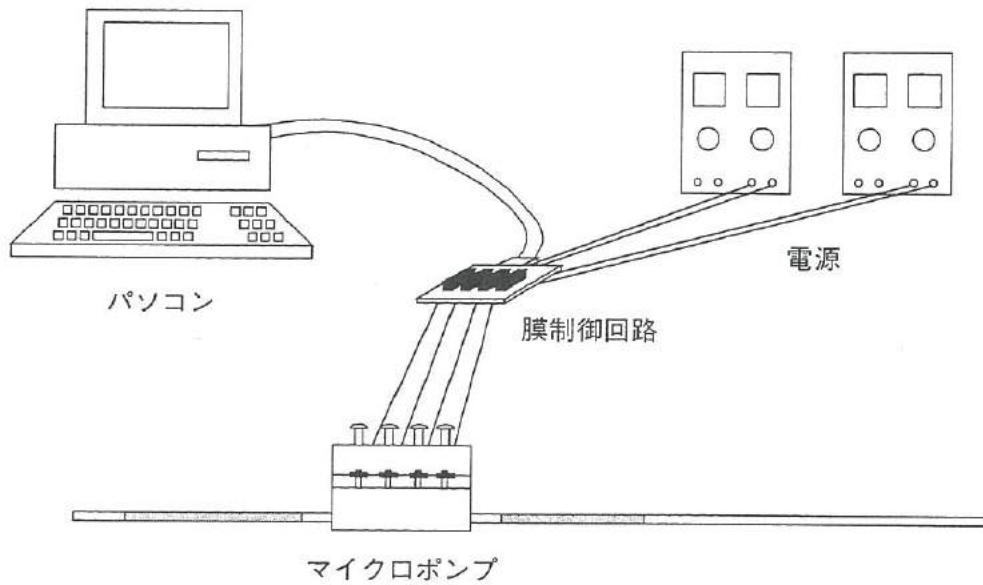


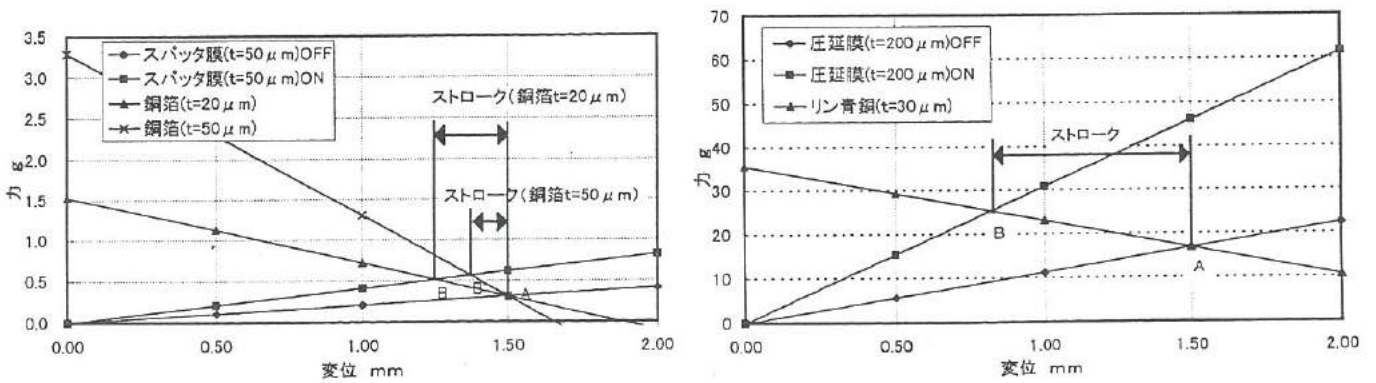
図5. マイクロポンプ制御システム
Fig.5. The micro-pump control system.

4. 結果および考察

4.1 SMA膜およびバイアス膜の特性

(1) SMA膜およびバイアス膜の変位と力との関係

マイクロポンプは、通電OFF時にSMA膜が約1.5mm反っていることから、SMA膜通電OFF時の力とバイアス膜の力が変位1.5mmで均衡が保たれている。そこで、SMA膜としてスパッタ膜と圧延膜の通電OFF時、ON時とバイアス膜の変位と力との関係を測定した。図6はその結果を示す。



(a) スパッタ膜と銅箔を使用した時

(b) 圧延膜とリン青銅を使用した時

図6. SMA膜とバイアス膜の変位と力との関係

Fig.6. Relationship of displacement and force between SMA film and bias film.

(a) Sputtered NiTi film and copper film. (b) Rolled NiTi film and phosphor bronze film.

図6の(a)は厚さ50 μm のスパッタSMA膜と厚さ20 μm および50 μm の銅箔（バイアス膜）の変位と力との関係を示す。また、図6の(b)は厚さ200 μm の圧延SMA膜と厚さ30 μm のリン青銅（バイアス膜）の変位と力との関係を示す。

図中のA点は通電OFF時のSMA膜とバイアス膜との平衡位置であり、B点は通電ON時のSMA膜とバイアス膜との平衡位置である。このAB間の距離がシリンダーのストロークとなる。

(2) スパッタ膜と圧延膜の特性の比較

表1は実験結果をまとめたものである。表より、SMA膜として使用したスパッタ膜と圧延膜の特性を比較すると、シリンダーのストローク（AB間）は、圧延膜を使用した場合約0.68mm（バイアス膜：30 μm 厚のリン青銅）となり、スパッタ膜を使用した場合約0.25mm（バイアス膜：厚さ20 μm の銅箔）および約0.13mm（バイアス膜：厚さ50 μm の銅箔）となった。

また、SMA膜の形状回復力は圧延膜のほうがスパッタ膜に比べて二桁大きな値を示した。スパッタ膜の力ではシリンダーとケースの摩擦力やスパッタ膜とシリンダーのガタによる抵抗等に打ち勝つことができず、シリンダーを動かすことができなかつたので、本研究のマイクロポンプには使用出来ないことが分かった。このため、本研究のマイクロポンプには、SMA膜として圧延膜を使用し、ポンプの流量測定を行った。

4.2 ポンプ性能

ポンプ性能実験時の実験条件を表2に示す。

(1) ポンプの基本性能

図7は吸入弁と排出弁のシリンダーを手動にし、シリンダーNo.2、3だけにSMA膜を用いた時のポンプの流量と膜への通電時間との関係を示す。横軸をSMA膜への通電時間とし、縦軸をポンプが5サイクル稼働したときの流量とした。図より、ポンプの流量は、いずれも理論値よりも小さい値となった。これは、シリンダーとケースの摩擦や圧延膜とシリンダーのガタによる抵抗等により、圧延膜がシリンダーに与える力が小さくなったために、シリンダーのストロークが設計値より小さくなったものと考えられる。また、通電時間が短くなるほど、ポンプの流量が小さくなった。これは、通電時間が短くなること

表2. ポンプの実験条件

Table 2. The experimental condition of micro-pump.

膜の通電時間(sec)	5	10	15	20	30
1サイクル時間(sec)	30	60	90	120	180

表1. スパッタ膜と圧延膜の特性比較

Table 1. Characteristics of SMA films.

	スパッタ膜	圧延膜
膜厚 (μm)	50	200
変態温度 ($^{\circ}\text{C}$)	76.4	71.4
印加電流 (A)	1	2
使用温度 ($^{\circ}\text{C}$)	80	90
変位1.5mmでの力 (gf)		
OFF時	0.31	16.77
ON時	0.62	46.14
ポンプのシリンダーストローク (mm)		
20 μm 厚銅箔使用	0.25	-
50 μm 厚銅箔使用	0.13	-
30 μm 厚リン青銅使用	-	0.68

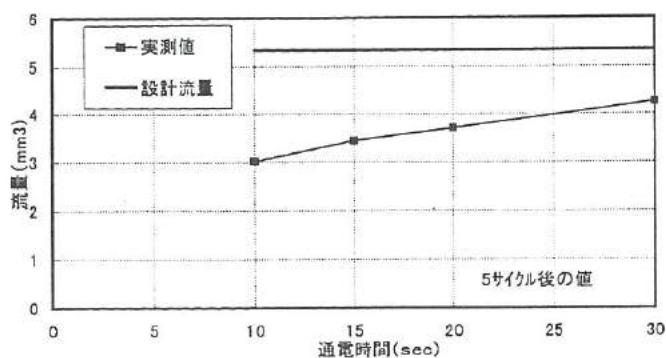


図7. マイクロポンプ性能テスト（バルブ：手動）

Fig.7. Performance of the micro-pump (valve: manual).

でSMA膜の通電OFFの時間が短くなり、SMA膜が完全に冷却される前に通電ONになるために、膜が通電前の状態に十分に戻されず、シリンダーNo.2、3のストロークが小さくなったためと考えられる。

(2) パソコン制御による動作

図8は吸入弁と排出弁のシリンダーにもSMA膜を用い、全てのシリンダーをパソコン制御した時の通電時間とポンプ流量との関係を示す。この実験においてポンプの一部から空気がポンプ内にリークして排出口から流出したため、流量は測定値からリーク値を引いた値を採用した。この図より、バルブを手動で動作させた時と同様に、ポンプの流量はいずれも設計流量より小さい値となった。なお、通電時間が15sec.以上ではほぼ一定流量を得ることが出来た。しかし、15sec.以下の通電時間では、吸入弁と排出弁のシリンダーが十分に閉じないため、ポンプとしての機能が低下し、流量が減少したものである。

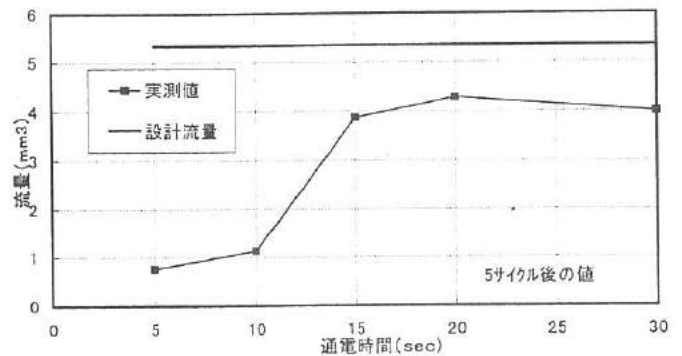


図8. マイクロポンプ性能テスト (バルブ: 自動)

Fig.8. Performance of the micro-pump (valve: auto).

5. 結 言

本研究では、NiTiのSMA膜とバイアス膜を用いてマイクロポンプを試作し、その性能を評価した。その結果は、以下の通りである。

- (1) SMA膜としてスバッタ膜を用いたところ、形状回復力が小さく、ポンプは動作しなかった。しかし、SMA膜として圧延膜を用いたところ、形状回復力が大きく、ポンプは動作した。
- (2) マイクロポンプの性能を評価した結果、SMA膜への通電時間が15sec.以上の時、 $0.7\sim 0.8\text{mm}^3/\text{cycle}$ の流量が得られた。
(ただし、1cycle=通電時間×6)

参考文献

1) 鈴木雄一, 実用形状記憶合, 71-82(1987)

II. 鍛造成形の簡易シミュレーションに関する研究

A simulation of metal forging process (2)

– Development of simplified simulation program for cold forging process –

松井 裕昭

佐山 利彦

清水 孝晃

谷野 克巳

MATSUI Hiroaki

SAYAMA Toshihiko

SHIMIZU Taka-aki

TANINO Katsumi

Abstract

In cold forging process, damage of tools caused by huge load is one of the most serious problems, thus metal forging process simulation program will be introduced for optimizing work piece and tools. At design phase of tools, however, works about numerical analysis have so much obstacles and makes it quite difficult to obtain valuable results with high precision how the work piece deforms and stress and plastic strain distribute in the work piece and tools. In this study, simplified simulation program for cold forging process has been developed not only for experts of analysis but also for designers to obtain comparatively high precision results without conscious of analysis algorithm or structure of data input files in general purpose analysis program. The following results are obtained. First of all, auto mesh generation is utilized in the initial modeling and rezoning finite element meshing in order to simplify the forging simulation process. Comparatively high precision analysis is carried out through the auto meshing provided that some functional modules such as smoothing will be added to modify mesh properties, frequent rezoning process will be performed, and smaller sized mesh will be used in high strain rate region. Next, general contact and friction analysis algorithm of the analysis program is modified in order to make a speciality of cold metal forging simulation. As a result, the analysis performance is improved remarkably by several subroutines to control smooth sliding movement of contacting nodes at corner, to set up separation condition at specific body region, and so on. Finally, various data processing programs such as prerezoning program will reduce works with computer user interface to one fifth under of usual program and improve the operation performance drastically.

1. 緒言

冷間鍛造は高い生産性が得られることや製品強度が大きいなどの点で他の多くの加工法に比べて優れた特性を有している。その一方で、この加工法は加工条件が極めて厳しく、金型にその限界強度に近い応力が発生するために、不適切な設計を行えば高価な金型を破損する可能性もある。この問題を解決するために、成形シミュレーションプログラムを用いて、金型内の応力分布および材料の流れを解析することが試みられ、その有効性も示されている⁽¹⁾。しかし、著者らの研究⁽²⁾により、鍛造成形シミュレーションには数値解析に関する種々の専門知識が必要であり、これが金型設計段階への導入にとって大きな障害となっていることが分かった。本研究では、解析の専門家でない設計技術者でも、解析プログラムのアルゴリズムやデータファイルの構造などをほとんど意識することなく、比較的精度の高い解析結果が得られる簡易鍛造成形シミュレーションプログラムの開発を試みた。

2. 鍛造成形シミュレーションの基礎研究

平成7年度に実施した「金属製品の鍛造成形シミュレーションに関する研究」⁽²⁾においては、金型設計段階において鍛造成形シミュレーション技術を導入するにあたり、必要となる解析手法や変形抵抗データの計測方法を中心に研究を実施した。さらに、実際に使用されている鍛造品およびその金型に対して鍛造成形シミュレーションを実施することにより、鍛造成形シミュレーションの有効性を検証し、またいくつかの問題点があることを指摘した。次にその概要を示す。

2.1 解析手法

鍛造工程を解析するにあたり、まず金型（パンチ、ダイ）およびブランクを有限要素法を用いてモデル化した。また、成形上の問題の特殊性を考慮して、大変形・大ひずみ解析、接触・摩擦解析、およびリゾーニングの各手法を導入した。すなわち、鍛造工

程におけるブランクの最大ひずみは100%を大幅に超えており、剛体変形や剛体回転も無視できない量であるため、大変形・大ひずみ解析が必要となる。また、金型との接触・摩擦という力の伝達によりブランクの変形が進行し、物体の境界条件も刻一刻と変化する。単純な一定変位あるいは一定荷重の境界条件は適用できず、解析を進めるにあたっては接触・摩擦問題としての取扱いが必要である。さらに、ブランクの変形が大きくなった場合は、要素形状のゆがみによって解析精度が低下するという問題が発生する。このため、変形したブランクの外形を保った状態で内部の要素を再分割するリゾーニングの手法を採用した。解析は汎用構造解析プログラムMARCを基に数種類の機能モジュールを組み込んで実施した。

2.2 鍛造材料の変形抵抗式

鍛造工程を厳密に解析するためには、ひずみ、ひずみ速度および温度を状態変数として考慮した変形抵抗式を用いる必要がある。しかし、本研究では機械プレスを用いた高速据込み試験を実施し、これによって得られたひずみだけで表した変形抵抗式を解析に用いた。解析の対象を冷間鍛造品だけに限定すれば、この変形抵抗式は間接的に温度およびひずみ速度の影響を考慮したものとなる。例えば、SCM420Hについては変形抵抗 σ と塑性ひずみ ϵ との関係として次式が得られた。なお、降伏点は247MPaであった。

$$\sigma = 484 \epsilon^{0.170} \quad (\epsilon > 0.01) \quad (1)$$

2.3 シミュレーションの問題点

実際の金型設計におけるシミュレーションプログラムの利用を想定した場合は、次のような解析に関する専門知識が必要であり、これが高精度解析を円滑に実行する際の障害となっていることが明らかとなった。

(1) 要素分割およびリゾーニングに関する専門知識

有限要素法による解析においては、要素分割がその精度を決定する主要な因子の1つとなっている。特に、鍛造成形のように要素変形が大きく非線形性が強い問題については、形状特性が悪い（アスペクト比やゆがみが大きい）要素を用いることは著しい精度低下につながる。鍛造工程におけるブランクの変形形状やひずみ分布を予め推測して要素分割を行うことも必要となる。

(2) 接触・摩擦問題の処理に関する専門知識

有限要素法と関連した物体接触の処理においては、物体間の接触は物体表面からの距離によって、また、解離は表面節点の反力によって判定される。これらを判定するパラメータのしきい値、摩擦力、あるいは解析の制御パラメータの設定が解析結果に大きな影響を与える。誤った接触・摩擦条件を設定した場合、実際のブランクとは異なった変形形状が得られる可能性もある。

(3) ソルバ入力データの作成に関する専門知識

ソルバ（解析プログラム）用の入力データファイルは、プリ・ポストプロセッサのインターフェースプログラムを用いることにより、基本的な部分は自動作成が可能である。しかし、上記のリゾーニングや接触・摩擦問題に関する詳細な条件設定を自動化することや特殊な機能のプログラムをソルバへ組み込むことに関しては、種々の困難な問題が発生する。

3. 簡易シミュレーションプログラムの概念

鍛造成形をはじめとする成形シミュレーションにおいては、主にプリ・ポストプロセッサおよびソルバの2つのプログラムが利用される。プリ・ポストプロセッサは、形状データの作成、要素分割、解析条件の設定、材料特性の定義、解析結果の表示など、解析の前処理および後処理を行うプログラムである。また、ソルバは解析そのものを実行するプログラムである。簡易成形シミュレーションプログラムは、これら2つのプログラムをベースとして、以下に示す種々の機能をモジュールプログラムとして追加したものである。解析に関する専門知識をできるだけ必要とせず、かつCAD感覚で容易に鍛造成形シミュレーションが実行できることを目指している。図1はその概念を示す。図中の網掛け部分が簡易化を進めるにあたって作成する機能モジュールである。

(1) 接触・摩擦データ自動作成

パンチ、ダイおよびブランクの接触・摩擦問題を解析するための入力データファイルを自動作成する。

(2) 解析モデルデータ自動作成

要素、節点、あるいは材料物性などの解析モデルの定義を行うための入力データを自動作成する。

(3) 自動要素分割

モデル内の領域の有限要素分割を自動で行う。2次元モデルの場合は4節点要素、3次元モデルの場合は4面体要素を用いる。

(4) リゾーニング前処理

リゾーニングに先立ち、表面節点データの抽出、境界形状の作成、ボディの再定義、要素分割などの処理を自動的に行う。

(5) 接触判定アルゴリズムの修正

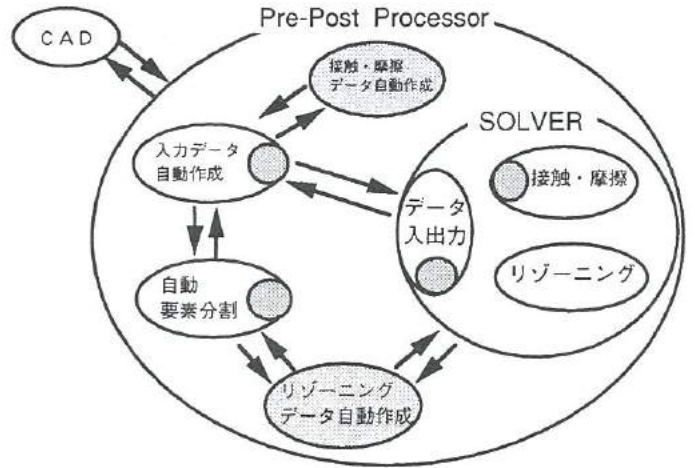
鍛造成形シミュレーションの特殊性を考慮し、一般的な接触・摩擦アルゴリズムに修正を加える。

(6) ソルバのデータ入出力機能の拡張

ソルバとプリ・ポストプロセッサとの間のデータ入出力機能を強化し、中間ファイルの編集などの作業を削減する。

(7) リゾーニングの機能拡張

複数ボディのリゾーニングなどの機能強化を図る。



4. 自動要素分割による解析精度の検証

高精度の鍛造成形シミュレーションのためには、変形後のFig.1. Concept of simplified simulation program for cold forging process. ブランク形状および内部のひずみ分布を推測し、マニュアルで要素分割を行うことが望ましいが、これには作業者の解析経験が大きく関与する。また、正味の計算時間以上の作業時間が必要となる場合が多く、作業効率の点においても問題がある。したがって、鍛造成形シミュレーションを簡易化するためには、初期形状要素およびリゾーニング要素の作成時に自動要素分割を行うことが不可欠である。自動要素分割にスムージングなどの要素特性を整える機能を付加し、リゾーニングの回数を少々増やすことによって、比較的高精度の鍛造成形シミュレーションが可能になると考え、簡易シミュレーションでは自動要素分割を行った。

自動要素分割による解析精度を検証するために、前年度の基礎研究において実施した自動車エンジン部品 VSR (Valve Spring Retainer) の冷間鍛造を対象として自動要素分割による解析を実施した。ブランクおよびダイを4節点軸対称要素を用いてモデル化した。マニュアル要素分割および自動要素分割のいずれにおいても、要素数は約1100、節点数は約1200である。また、パンチの平均押込み速度を50mm/s、単位増分ステップ当たりの平均増分時間を0.5ms (押込み量で25μm) と設定した。

図2は鍛造荷重の変化を示す。マニュアル要素分割による解析と自動要素分割による解析は、ほとんど同じ荷重曲線を与えることがわかる。最終充填過程において若干の違いが見られるが、これは両者のリゾーニングを実施する増分値を同じに設定したためであり、自動要素分割においてリゾーニングの回数を増やせば解決できる問題である。また、ブランク内部の相当塑性ひずみの分布を比較したところ、両者のブランクの変形形状はほとんど一致した。相当塑性ひずみの分布もほとんど一致しているが、ブランクのコーナー部あるいはもとコーナーであった部分においては、相当塑性ひずみ分布に差が見られた。これは、自動要素分割においてはコーナー部で要素特性が良好なものは作成されにくいためであり、コーナー部では要素寸法を小さく設定するなどの配慮が必要である。以上の結果より、自動要素分割を用いても比較的高精度の鍛造成形シミュレーションが可能であることが明らかになった。

図1. 簡易成形シミュレーションプログラムの概念

Fig.1. Concept of simplified simulation program for cold forging process.

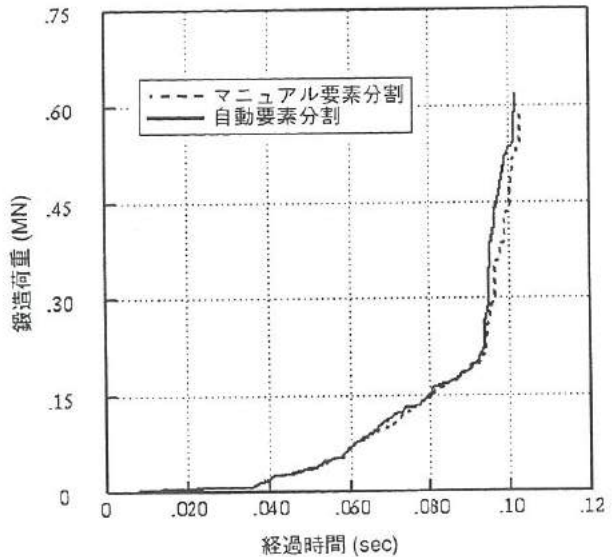


図2. マニュアルおよび自動要素分割における荷重曲線の比較

Fig.2. Comparison of load curve between manual and auto meshing.

Fig.2. Comparison of load curve between manual and auto meshing. マニュアル要素分割および自動要素分割のいずれにおいても、要素数は約1100、節点数は約1200である。また、パンチの平均押込み速度を50mm/s、単位増分ステップ当たりの平均増分時間を0.5ms (押込み量で25μm) と設定した。

5. 接触判定アルゴリズムの修正

鍛造成形シミュレーションに利用した汎用構造解析プログラムにおける接触・摩擦解析の手順は、前報⁽²⁾に示すとおりである。しかし、これは一般的な接触・摩擦解析のアルゴリズムであり、鍛造成形シミュレーションを行うための問題の特殊性を考慮して、接触判定を中心として若干のアルゴリズムの修正を行った。その主要な修正点を次に述べる。

(1) コーナー部での接触処理

接触節点がボディ表面を滑りコーナーに達した場合、通常は接触節点を一度ボディから解離した上で、コーナーと隣接する別のセグメントとの接触判定が行われる。ただし、この場合のコーナーとはパンチなどの円弧部分を有限個の要素で多角形近似したときにできる角のことである。ボディ間の接触面圧が比較的小さい場合には、これは有効な接触処理方法である。しかし、鍛造成形のように面圧が降伏応力を大幅に超えているような問題では、接触節点が一度解離してから再接触するような状況は皆無であり、このような処理は単に解析時間を長くするだけで適切な方法とはいえない。さらに、増分値の設定が適切でなければ、解離した節点がボディを大きく貫通してしまう可能性もある。そこで、コーナー角度の大きさに関係なく、接触節点は解離せずに滑らかに隣接するセグメントへ移動するように、サブルーチンプログラムを組込んでアルゴリズムに修正を施した。

(2) 接触節点の解離条件

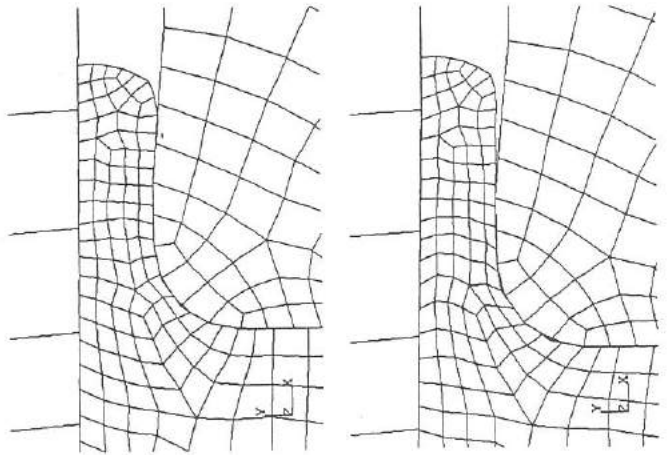
鍛造成形においては面圧が非常に大きな値であるために、一度ボディに接触した節点が解離することはまれであるが、プランクがパンチのコーナーを回り込むような場合は、接触節点は解離する可能性がある。接触節点の通常の解離条件は、接触節点において引張反力が発生し、かつこの値が解析モデル内の最大残差力よりも大きくなった場合である。しかし、鍛造解析においては最大残差力は10kNのオーダーであり、この条件では節点は容易に解離せず、プランクの変形形状が実際とは大きく異なったものになる可能性がある。そこで、節点解離が発生する可能性がある部分を指定し、節点反力のしきい値を小さな一定値に設定して、容易に接触節点が解離するように解離条件を変更できるプログラムを作成した。図3は節点反力のしきい値として、最大残差力を用いた場合と小さな一定値を設定した場合とについて、プランクの変形形状を比較したものである。実際のプランクの変形形状は後者の場合に近い。前者の場合は、プランクの表面節点がパンチ表面と接触した状態を保ちながら変形が進行していることがわかる。

6. リゾーニング前処理プログラム

6.1 リゾーニングのアルゴリズム

シミュレーションが進行する過程で要素変形が大きくなると、解析精度が著しく低下する。そこで、変形してはずんだ要素を排除し、新しく要素分割を行い、古い要素の情報を新しい要素に移し替えるリゾーニングを実施する。リゾーニング自体はソルバ内で自動的に実行されるが、その入力データを作成するために多くの前処理過程が必要となる。図4はリゾーニングの前処理過程における一連の作業を示す。

- (a) 初期のボディ形状データ（節点座標、要素のデータ）を入力する。
- (b) 変形後のボディの節点座標を入力する。



最大残差力を用いた場合 特定部分に一定値を設定した場合
図3. 接触節点の解離条件の違いによる変形形状への影響

Fig.3. Influence of separation condition on deformed body shape.

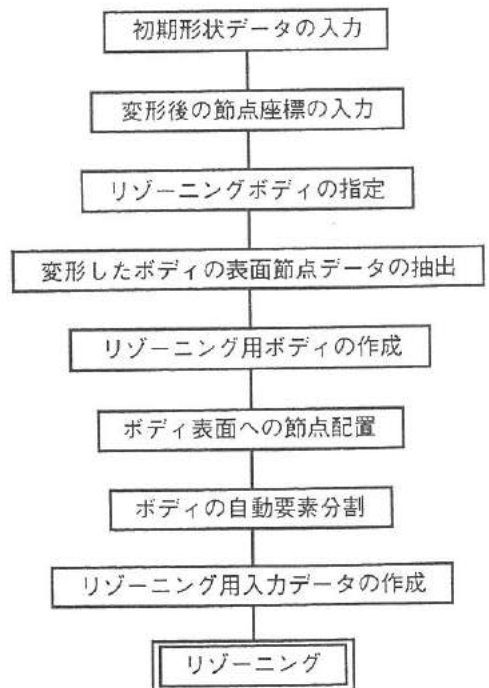


図4. リゾーニング前処理過程のアルゴリズム
Fig.4. Algorithm of pre-rezoning process.

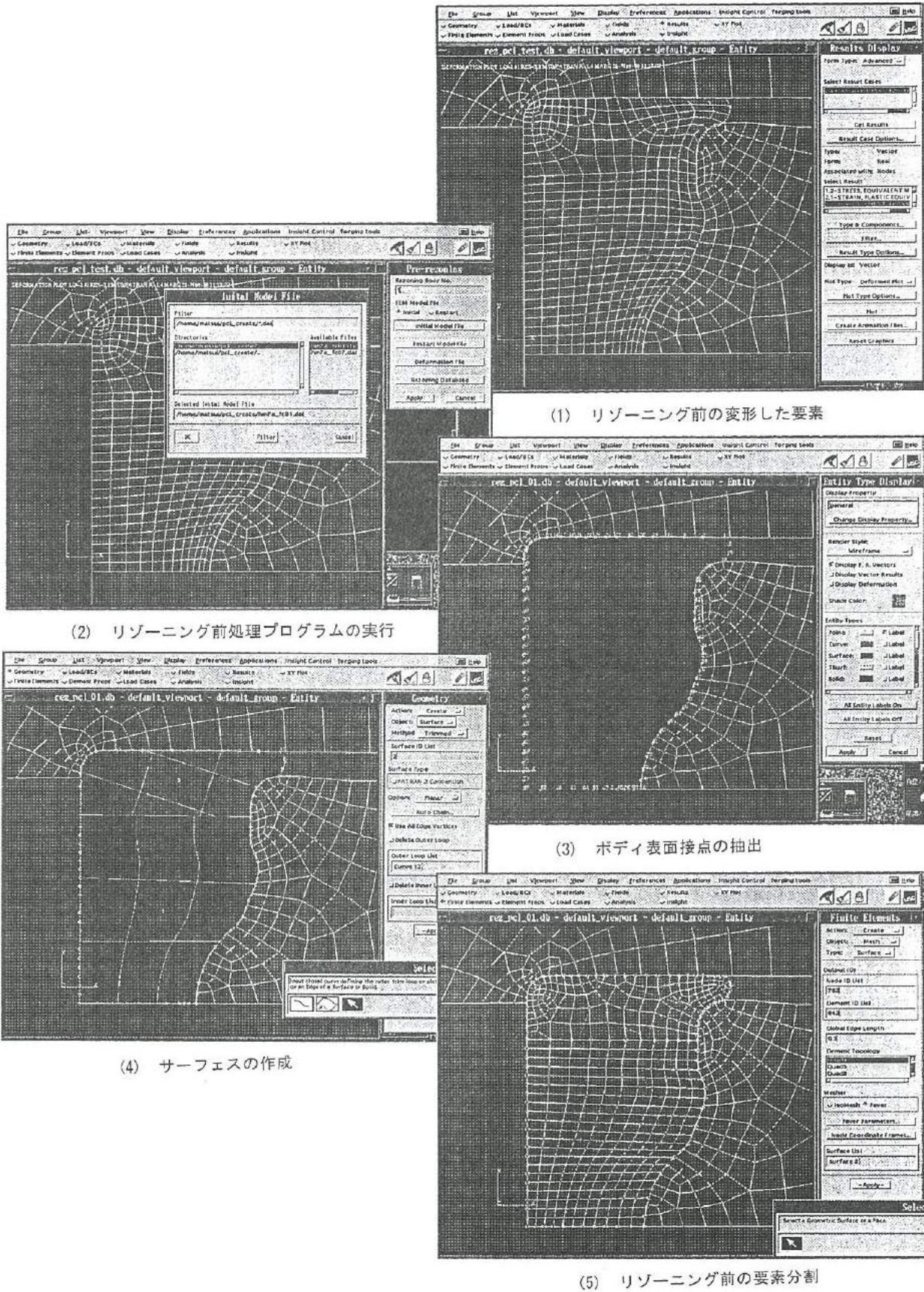


図5. リゾーニング前処理の操作例

Fig.5. An operation example of pre-rezoning process.

- (c) リゾーニングの対象となるボディを指定する。
- (d) 変形したボディの境界を構成する節点のデータ（節点番号、節点座標）を抽出する。
- (e) (d)のデータに基づきボディを再定義する。
- (f) ボディの境界部分に要素分割の指定を行う。
- (g) ボディに対して自動要素分割を行う。
- (h) リゾーニング用の入力データを作成する。

6.2 リゾーニング前処理プログラムの実行

図5は画面上でのリゾーニング前処理過程の操作例を示す。前処理プログラムでは、リゾーニング対象ボディ、ボディの変形データを有するファイルおよびリゾーニング用新規データベースなどを1つのメニュー上で指定することにより、自動的に新規データベースが作成されて、リゾーニング対象ボディの表面節点が画面上に表示される。さらに、作業者はリゾーニング用ボディの再定義、要素分割の過程を経て、リゾーニングを実行する。従来は、リゾーニング対象ボディの指定、ボディの表面節点データ抽出などの前処理作業はマニュアルで行っていたが、このリゾーニングの前処理プログラムを使用することで、従来は少なくとも数時間かかっていた作業が数分程度に短縮され、作業効率が大幅に向上した。

7. 簡易シミュレーションプログラムの評価

7.1 実金型設計への適用による評価

鍛造成形の簡易シミュレーションプログラムを評価するために、実際の鍛造品への適用を試みた。シミュレーションの対象として、自動車エンジン部品のバルブリフタの冷間鍛造を取り上げた。このバルブリフタの金型においては比較的少ない鍛造回数で損傷が発生するために、金型の長寿命化が課題となっている。図6はバルブリフタおよびその金型の断面を示す。損傷発生箇所はパンチ下面の凹部のR底であり、この部分の応力集中を定量的に評価し、金型設計に反映させることが目的である。

プランク、パンチおよびダイを4節点軸対称要素を用いてモデル化した。初期形状において、モデルの要素数は635、節点数は738である。パンチの平均押し込み速度は50mm/s、単位増分ステップ当たりの平均時間増分は0.5ms（押し込み量で25 μ m）と設定した。また、各ボディ間には摩擦係数0.1のクーロン摩擦を想定した。

図7はシミュレーションと実測による鍛造荷重の変化を示す。押し込み量が3.0mm以上の鍛造荷重が急増する領域において、両者は非常によく一致しており、概ね良好な結果が得られた。しかし、シミュレーション結果の方は実測よりも最大荷重が約0.1MN（比率で8.9%）大きく、また、最大荷重となるタイミングも約1.6ms（押し込み量で80 μ m）遅れている。これは、円筒部分の要素分割が粗く、数値的な変形抵抗が大きくなったためであり、したがって、簡易シミュレーションを行う場合においても、ひずみ速度が大きな部分に対しては、十分に細かい要素分割を行う配慮が必要であると考えられる。

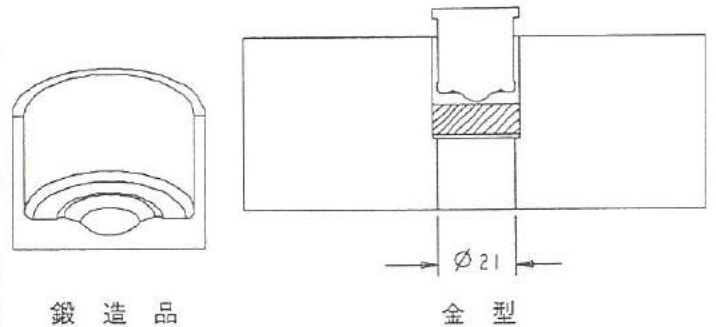


図6. 解析の対象とする実鍛造品および金型
Fig.6. A real forging product and related dies.

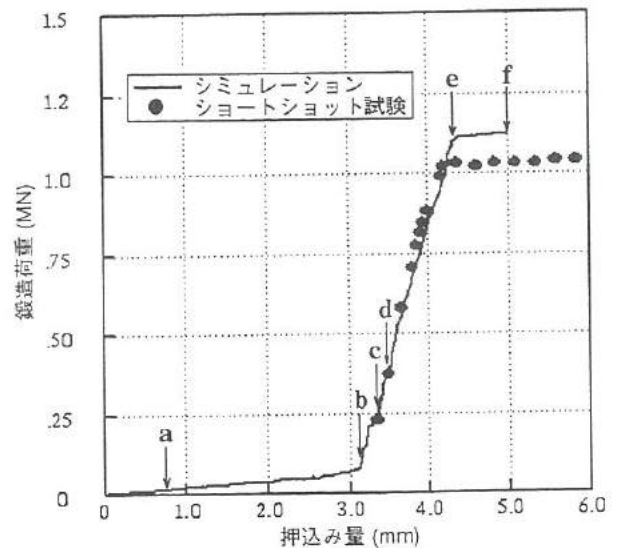


図7. 鍛造荷重曲線
Fig.7. Forging load curve.

次に、図8は図7中の各指示点に対応するブランクの変形形状について、シミュレーションとショートショット試験の結果を対比させたものを示している。a点（押し込量0.75mm）付近の鍛造の初期状態においては、パンチの先端およびダイのコーナー部分がブランクと接触する。この接触状態は、押し込み量が3.0mmを超えるまで比較的長く継続し、この間荷重はほとんど増加しない。しかし、b点（押し込み量3.10mm）においてパンチ周辺の凸部分がブランクと接触すると、荷重は急激な増加に転じ、その後e点（押し込み量4.32mm）に至るまで押し込み量で平均0.84MN/mm程度の荷重の増加が続く。ブランクの下部は、c点（押し込み量3.35mm）においてノックピンと完全に接触する。その直後のd点（押し込み量3.50mm）において、パンチの下部がブランクと完全に接触し、この後はブランクの円筒部分がパンチとダイとの隙間に押し出される段階に入る。鍛造荷重はe点において最大値1.13MNに達し、ブランクの変形が定常状態となる。この後、鍛造荷重、金型内の応力分布およびブランク内のひずみ分布が変化しなくなるので、解析は最終鍛造形状まで行わず、f点（押し込み量4.95mm）において打ち切りとした。図8から明らかなように、ブランクの変形形状について、シミュレーション結果はショートショット試験結果を忠実に再現していることが分かる。

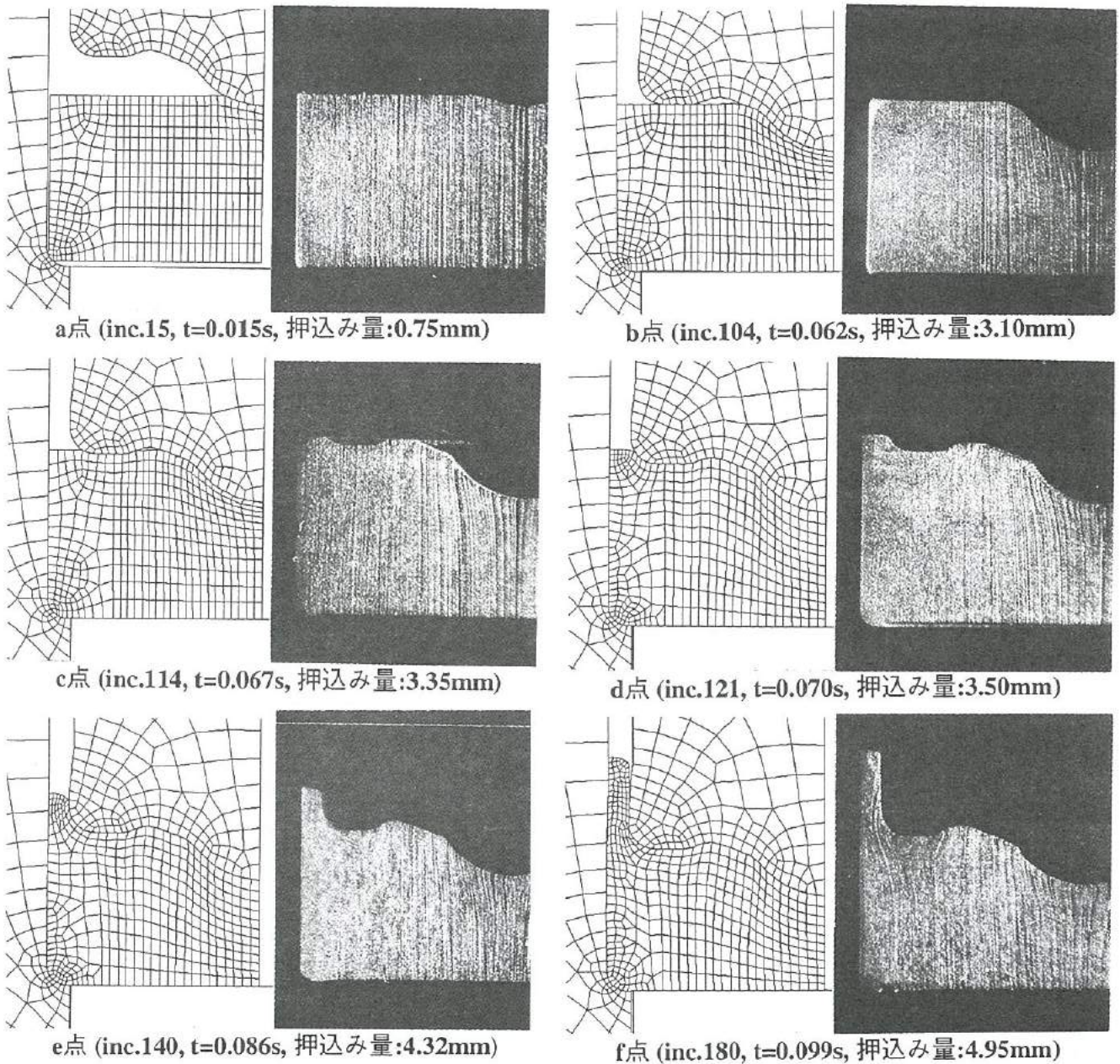


図8. シミュレーションおよびショートショット試験におけるブランクの変形形状の比較

Fig.8. Comparison of deformed blank shape between the present simulation and short shot experiment.

図9はe点におけるパンチおよび金型内の最大主応力 σ_{m3} の分布を示す。図においてパンチ内は圧縮応力状態にあるが、パンチ下面の凹部R底（A点）やダイのコーナR部（B点）においては引張応力が発生していることが分かる。また、A点における σ_{m3} の変化は鍛造荷重の変化とほぼ同じ傾向を示す。すなわち、b点以降において σ_{m3} は急激に増加を開始し、e点において最大値1.73GPaに達する。この応力レベルではパンチが即座に破壊することはないが、繰返し負荷状態であることからパンチが短寿命になることは容易に推測できる。金型設計においては、A部の応力低下を図るために、金型の分割や鍛造プロセスの変更が必要になる。以上のことから、簡易シミュレーションプログラムを用いても金型内の応力分布およびその変化について定量的な評価が十分に可能であり、金型設計において有効なツールとなるものと確信している。

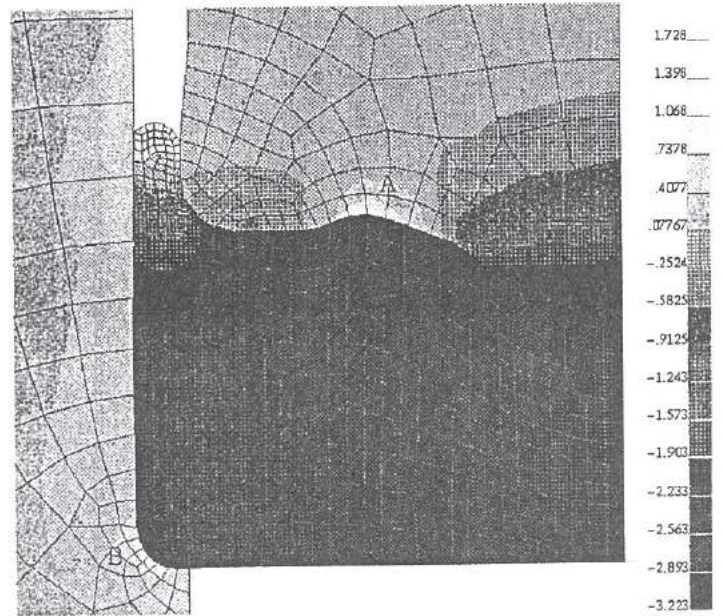


図9. 最大主応力 σ_{m3} の分布状態

Fig.9. Major principal stress σ_{m3} distribution.

7.2 オペレーションについての評価

上記の解析においては、モデル作成から解析完了まで約4時間を要する。使用したコンピュータはHP9000-715/80であり、CPUが作動していた正味時間は約 3.55×10^3 sec（約1時間）である。残りの約3時間は、形状作成、要素分割、あるいはリゾーニング処理といったユーザーインターフェースを介してのいわゆる手作業である。しかし、簡易シミュレーションプログラムを使用する以前と比較して、この作業時間は1/5以下に削減されており、また、解析プログラム本体およびその入力データファイルをほとんど意識することなく作業を行うことが可能となった。すなわち、解析の専門家でなくても、比較的精度の高い解析結果を容易に得られるプログラムに近づいた。

8. 結言

本研究では設計技術者が金型設計段階において、冷間鍛造成形における金型内の応力分布や材料の流れを正確に評価できるようにするために、解析に関する種々の専門知識を必要としない簡易成形シミュレーションプログラムの開発を行った。その結果、以下に示す成果が得られた。

- (1) 鍛造成形シミュレーション作業の簡略化を図るために、初期形状作成およびリゾーニング要素作成時に自動要素分割を導入した。これにスムージングなどの要素特性を整える機能を付加し、リゾーニングを頻繁に実施し、さらに、ひずみ速度が大きな部分においては要素寸法を小さく指定することによって、比較的精度が高いシミュレーション結果が得られることが分かった。
- (2) 鍛造成形シミュレーションにおける解析上の問題の特殊性を考慮し、一般的な接触・摩擦解析のアルゴリズムに修正を施した。すなわち、接触節点をコーナー部において滑らかに移動させたり、節点解離が発生する可能性がある部分を指定して解離条件を部分的に設定するなどの点について修正を行った。これにより、解析効率が大幅に改善され、しかも設計技術者は接触・摩擦解析のアルゴリズムをほとんど意識する必要がなくなった。
- (3) リゾーニング前処理プログラムなどの種々のデータ処理プログラムを作成することによりユーザーインターフェースを介してのオペレーション量を従来の1/5以下に削減し、鍛造成形シミュレーションの作業効率を大幅に向上させることができた。

参考文献

- (1) 例えば、Kim, H., et al.: *J. Mat. Process Tech.*, 46- 1/2(1994), 127.
- (2) 永森、ほか5名：若い研究者を育てる会研究論文集, 9(1996), 9.

Ⅲ. レドックス型太陽発電システムの開発 (2)

Development of Redox Solar Cell System (2)

市川 良雄 <i>ICHIKAWA Yoshio</i>	田畑 裕信 <i>TABATA Hironobu</i>	三井 清隆 <i>MITSUI Kiyotaka</i>	長谷川 益夫 <i>HASEGAWA Masuo</i>
角崎 雅博 <i>KADOSAKI Masahiro</i>	松田 敏弘 <i>MATSUDA Toshitiro</i>	山崎 茂一 <i>YAMAZAKI Shigekazu</i>	谷野 克巳 <i>TANINO Katsumi</i>

Abstract

A redox solar battery which uses dye-sensitized titanium dioxide was investigated. The solar battery cell had an anode of TiO₂ film prepared with sol-gel coating method on ITO glass plate followed by heating treatment and dye absorption. Material of a cathode was metal such as Pt. Solution of tetrapropylammonium iodide (TPAI), potassium iodide (KI) and iodine(I₂) were mainly used as electrolyte. Mixture of ethylene carbonate(EC) and acetonitrile were used as solvent. We examined the influence of material of anode/cathode, electrolyte and the structure of solar battery cell on photovoltaic characteristics. Results were as follows;

- (1) Addition of TiO₂ powder and using dye to sol for anode preparation improved the maximum electric power density(P_{max}) by a factor of one hundred and fifty. And the highest P_{max} obtained in this research was 2.8 W/m² at 2500lx, where light-to-electric energy conversion efficiency was about 1%. Also, within the thickness of 5μm, thicker TiO₂ film resulted in the better P_{max}.
- (2) Among cathode materials examined, Pt exhibited the highest P_{max}, and P_{max} of Ni was about 75% of that of Pt.
- (3) The change of electrolyte from TPAI to NaI, and the change of solvent ratio of EC and AN did not affect the P_{max}.
- (4) On the structure of battery, the higher ratio of cathode area to anode area, and the smaller distance of the interelectrode, resulted in the better P_{max}.

1. 緒言

産業革命以来、人類は太陽光エネルギーの缶詰ともいえる石炭や石油を使って豊かな生活を築こうとしてきた。第2次世界大戦以後は原子力の利用が進められてきたが、依然として石炭や石油などの過去の太陽エネルギーの賜に頼っているため、その枯渇と環境汚染が問題となっている。一方、地表に注がれる太陽光エネルギーは毎秒約20兆kcalであり、そのエネルギーは約80分間で現在の人類が消費する1年分のエネルギーに相当すると言われている。

太陽光から直接電力を取り出す研究は、Pearsonの太陽電池(1954年)に始まる。現在、太陽電池によるエネルギーの価格は当初の数万円/kWhから数百円/kWhにまで低下してきているが、一般商用電力と対抗するためには数十円/kWhにまで引き下げる必要がある。コストダウンを図りながら光電変換効率を上げ得る材料として、酸化チタン(TiO₂)などの光半導体に関心が高まっている。

TiO₂を構成するチタン(Ti)は地殻中では9番目に多い元素である。さらに、TiO₂は白色顔料として広く使用されており、歯磨き粉や化粧品にも使われている毒性の低い物質で、きわめて耐久性が高い。TiO₂は光照射されると強い酸化力を持ち、水溶液中では水酸ラジカルを発生させる。この酸化ポテンシャルはオゾンや塩素のそれを超えるほど高いため、有害物質の分解や光電変換等への利用が検討されている。また、ルテニウム(Ru)錯体などの有機色素は、TiO₂が利用できない可視光でさえ光電変換する

特性を示し、これらを併用することによって光電変換効率の向上が期待されている^{(1)~(6)}。本研究では、酸化還元（レドックス）型太陽電池開発のため、昨年度はTiO₂膜の作製条件と光電変換特性について検討し、本年度は色素コートしたTiO₂膜の光電変換特性について基礎的検討を行った。

2. レドックス型太陽電池

アノードであるTiO₂膜に太陽光が照射されると、TiO₂の価電子帯には正孔、伝導帯には電子が生じ、電子は近傍の物質からカソードに移り、それぞれ、還元と酸化（レドックス反応）が行われ、太陽光発電が可能となる。しかし、TiO₂単独の膜では太陽光の紫外領域だけが光電変換に寄与しており、エネルギー変換効率向上のためには可視光領域の利用が求められる。ルテニウム錯体をはじめとする色素は可視光によって励起され、電子を放出する電子供与体として働くことが知られている。図1はルテニウム錯体色素の吸収スペクトルを示す。この色素は赤紫色を呈し、300~700nmの広い波長幅の光で励起反応を起こす。このため、TiO₂膜と色素の組合せによって、より変換効率の高いレドックス型太陽電池を作り出すことが可能と考えられている。図2は色素コートしたアノードの電子移動機構を示す。色素の光励起反応により生じた電子は電極側へ移動し、色素の正孔には電解液中の還元剤から電子の注入が起こる。図3は色素を利用した太陽電池セルの構造の一例を示す。

本研究では、アノード材料としてTiO₂ゾル液にTiO₂粉末を添加して塗布、焼成し、さらに色素をコートした膜について光電変換特性を測定し、カソード、アノード、電解液、電極構造の影響について検討した。

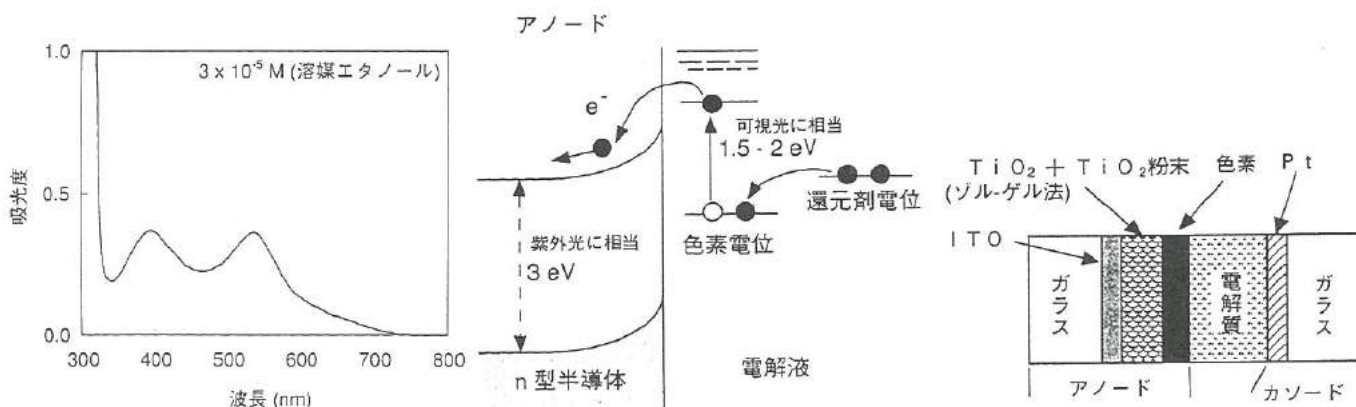


図1.ルテニウム錯体色素吸収スペクトル 図2.色素コートしたアノードの電子移動機構 図3.色素を利用した太陽電池セルの構造例

Fig.1. Absorption spectrum of Ru complex.

Fig.2. Electron transfer model of dye-coated anode.

Fig.3. Example of dye-coated solar cell structure.

3. 試料の作製と実験方法

3.1 光電変換特性評価装置

評価用の太陽電池セルには、主として図4の(1)に示す電解液を満した光照射用窓のついたプラスチック製容器に電極を入れる構造のものを使用し、電極間距離の検討には、図4の(2)に示すシリコンゴムをスペーサとして電解液を入れる構造のものを使用した。(1)の容器には直径21mmの光照射用の窓（光照射面積346mm²）と、光源側から10mmの位置に同径の採光穴を設けた。採光穴の外側にアノードを取り付け、18mm隔てた位置にカソードを置いた。(2)のスペーサの厚さは0.5、1.5および5.0mmの3種類とし、電解液が一方の電極と接する面積は425mm²とした。光源にはキセノンランプを使用した模擬太陽光（ワコム電創（株）製KISP1CS）を用い、光の強度は試料面位置で25,000lx（直接照射光を測定した値）であった。これは、快晴時の太陽光の1/4の強度に相当する。太陽電池セルの負荷として4Ωから5MΩまでの抵抗体を用意し、電圧-電流特性を測定した。測定は、抵抗体の接続切り替え以外は自動で行えるようにした。

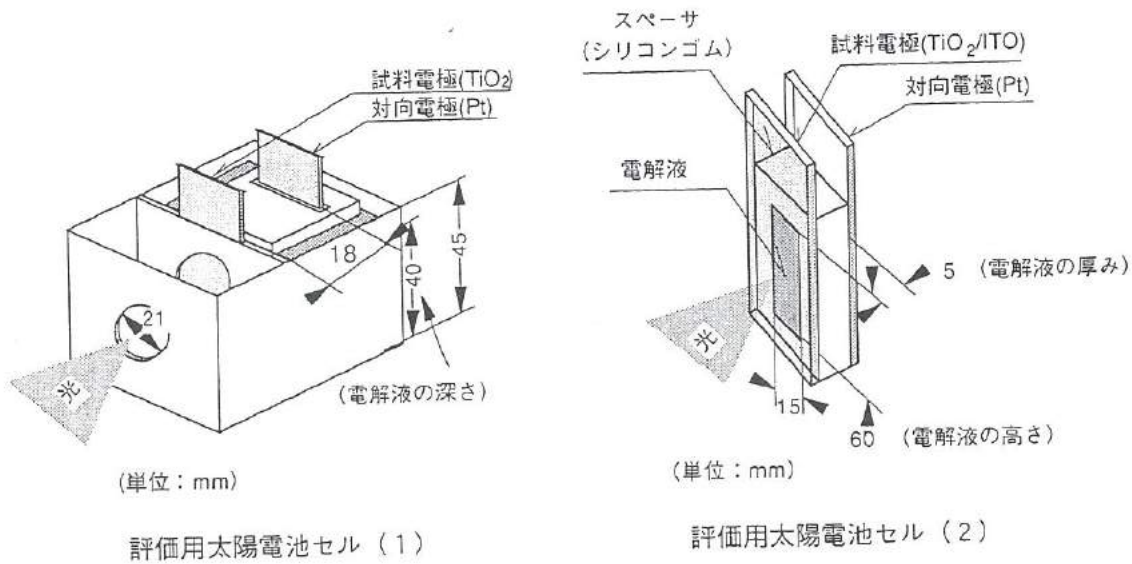


図4. 光電変換特性評価装置

Fig.4. Measurement system of photovoltaic characteristics.

3.2 アノードの作製方法

(1) ソルゲル法によるTiO₂膜

透明な導電性膜付きガラス基板 (ITOガラス) にTiO₂膜をソルゲル法で形成し、光電変換特性を測定した。図5はソル液の作製方法を示す。ソル液の合成後、約1週間室温中に放置した後、約2~3倍に濃縮し、さらにTiO₂粉末 (アナターゼ型) を添加した。成膜にはDip法を採用した。TiO₂粉末には主に平均粒径が60nmのものを使用した。光電変換効率の平均粒径依存性については15および30nmの粒子のものについても検討を加えた。DIP法の引き上げ速度は37mm/minとし、エタノール中で超音波洗浄したITOガラス両面にTiO₂を付着させた後、導電性のない面をアセトンでふき取り、70°Cで10分間乾燥した後、大気中500°Cの温度で1時間の焼成処理を施した。

(2) 色素の合成と電極へのコート

増感色素にはGratzelの文献⁽²⁾より cis-di(thiocyanato)bis(2,2'-bipyridyl)-4,4'-dicarboxylate)ruthenium(II)を選定した。図6はこの色素の合成方法を示す。(1)の方法で作製したTiO₂電極を70°Cで1時間乾燥させた後、乾燥エタノール中に色素を3×10⁻⁴M溶解した液に、24時間浸漬させて色素の電極へのコートを行った。

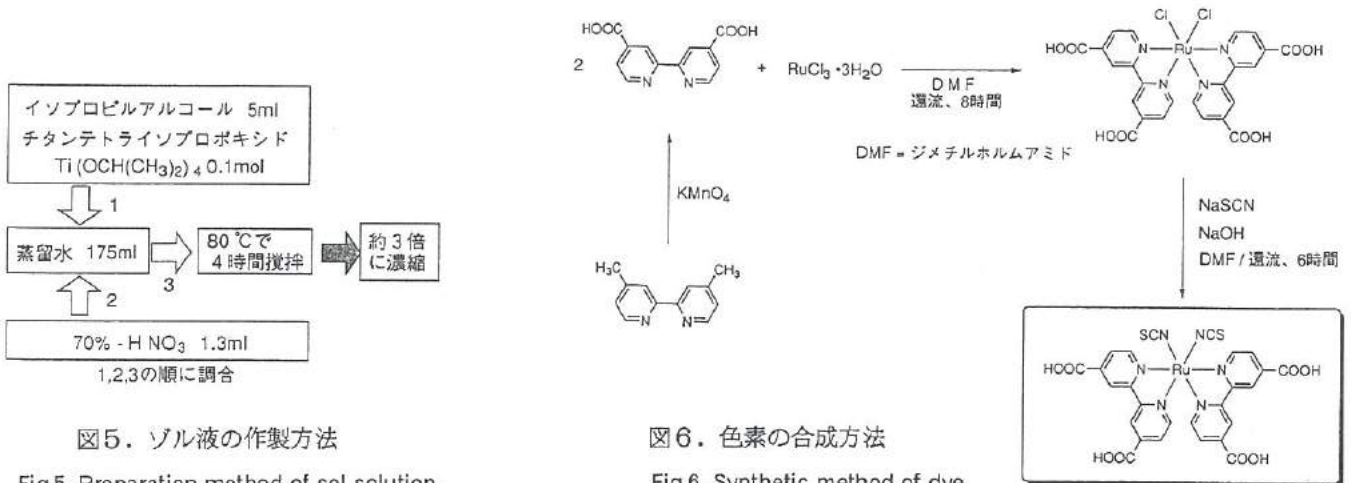


Fig.5. Preparation method of sol solution.

Fig.6. Synthetic method of dye.

3.3 カソード材料の選定

カソードには、主にガラス基板上に白金 (Pt) 膜 (厚さ約0.1 μ m) をスパッタリングで形成したものを用いた。Pt膜の下地には、ガラス基板との密着性の改善ためTi膜をスパッタリングで形成した。

その他のカソード材料としてITOガラス、Al板、Ti板、SUS板およびNi板について検討を加えた。また、SUSとNiについては表面状態の影響を調べるため、#400のサンドペーパーで表面を粗くし、さらに、500°Cで1時間大気中で焼成したものにも検討を加えた。

3.4 電解液

電解液には酸化還元対として $3I^- \rightleftharpoons I_3^-$ 系を使用し、電解質と溶媒について検討した。実験に供した電解液の種類を以下に示す。

- ①テトラプロピルアンモニウムヨード (TPAI) : 0.5M、ヨウ化カリウム (KI) : 0.02M、ヨウ素 : 0.04M、
溶媒 : エチレンカーボネート (EC) (80%) / アセトニトリル (AN) (20%)
- ②ヨウ化ナトリウム (NaI) : 0.5M、ヨウ素 : 0.04M、
溶媒 : エチレンカーボネート (EC) (80%) / アセトニトリル (AN) (20%)
- ③テトラプロピルアンモニウムヨード (TPAI) : 0.5M、ヨウ化カリウム (KI) : 0.02M、ヨウ素 : 0.04M、
溶媒 : アセトニトリル (AN) (100%)

4. 結果および考察

4.1 アノードの検討

本研究では、アノード物質であるTiO₂膜および色素の光電変換特性を調べるために、TiO₂粉末添加条件および色素浸漬条件について調査した。

(1) TiO₂粉末添加条件

TiO₂粉末添加量が光電変換特性に及ぼす影響を調べるため、TiO₂ゾル液に粒径60nmのアナターゼ型TiO₂粉末を混入して作製したアノードと、その上に色素コートしたアノードの光電変換特性を測定した。図7はその一例を示す。一般に、太陽電池の外部に現れる電圧は、負荷抵抗を小さくして大きな電流を取り出すにしたがって、開放電圧値から低下して行く。アノードの単位面積当たりの電流密度と電圧の積である電力密度は、電圧に対して上に凸の曲線となり、極大値を持つ。この値を最大電力密度 (Pmax) と呼ぶ。

色素コートあり、なし共にTiO₂粉末を添加することによってPmaxは増大した。これは膜厚の増加に伴うアナターゼ型TiO₂量の増加と表面積の増大に起因すると考えられる。図8はTiO₂膜のX線回折分析 (XRD) 結果を示し、TiO₂ゾル液にTiO₂粉末を混入することで、アナターゼ型TiO₂量が増加しているのが分かる。また、図9はTiO₂膜の走査型電子顕微鏡 (SEM) 写真の一例を示し、TiO₂粉末の添加により表面に凹凸が形成され、表面積が増大している様子が分かる。

図10はゾル液中の総TiO₂量 (Tiアルコキシドから作製したTiO₂量+添加したTiO₂粉末量) と膜厚の関係を示す。総TiO₂量の増加すると膜が厚くなる傾向が見られ、総TiO₂量が450g/lを超えると膜は厚くなるものの、割れや剥離が発生しやすくなり、良好な膜が得られにくくなった。

このようにして作製したTiO₂膜と、さらに色素をコートした膜の光電変換特性を調べた。図11は色素なしおよびありの場合の膜厚とPmaxの関係を示す。色素なし、あり共に膜厚の上昇に従ってPmaxが増大した。

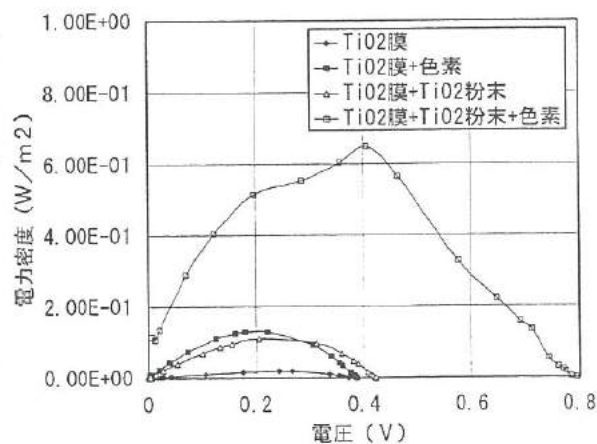


図7. 太陽電池の光電変換特性の測定例

Fig.7. Measurement example of photovoltaic characteristics.

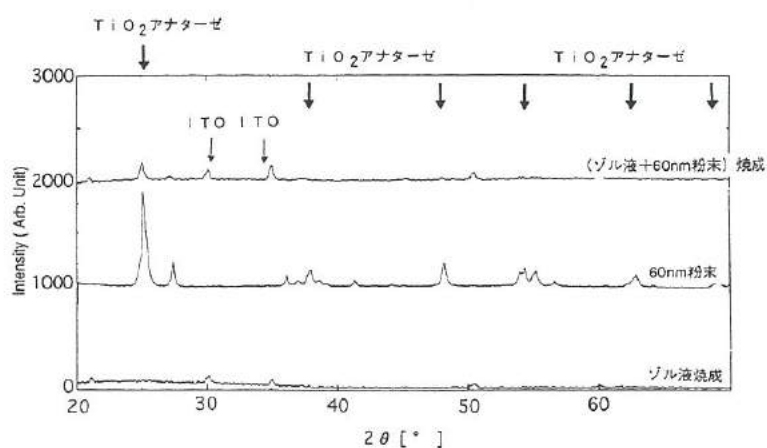


図8. TiO₂膜のXRD分析結果
Fig.8. XRD patterns of TiO₂ films.

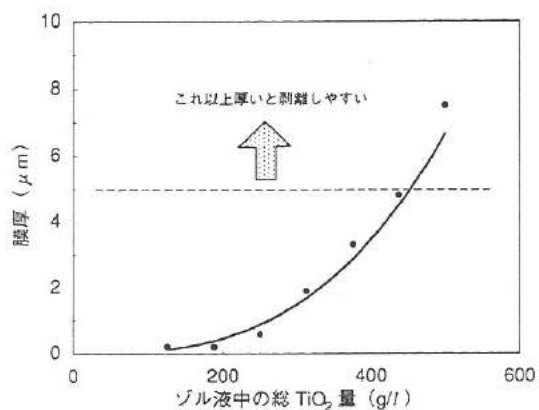
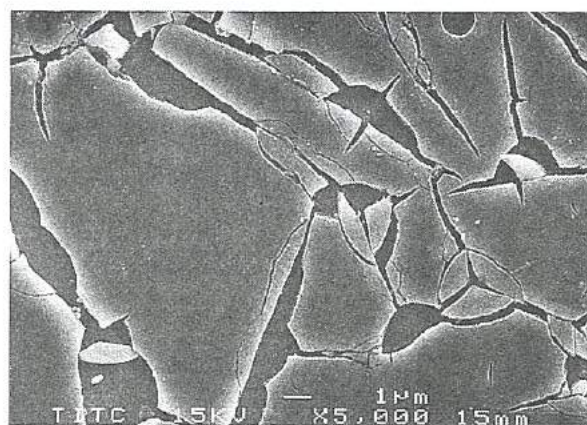
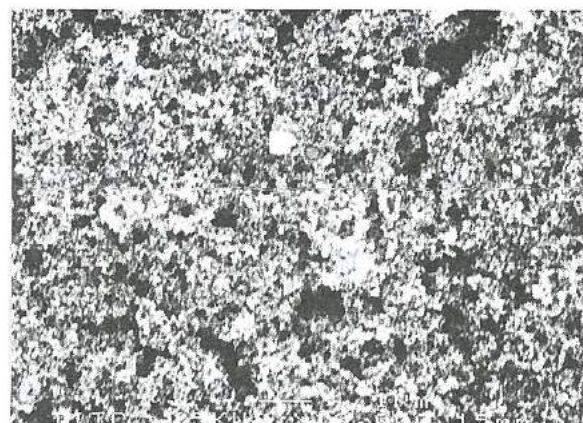


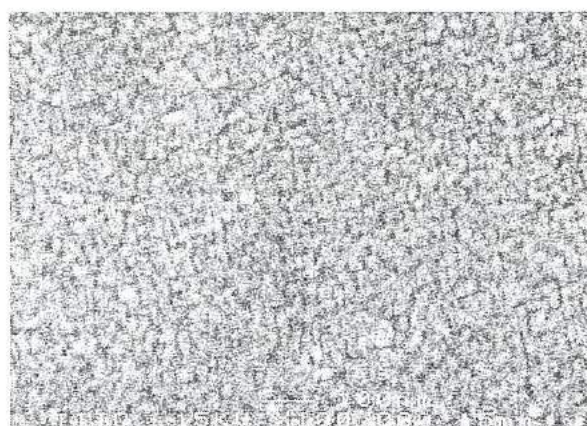
図10. ソル液中の総TiO₂量と膜厚の関係
Fig.10. Relationship between quantity of TiO₂ in sol and thickness.



×5,000

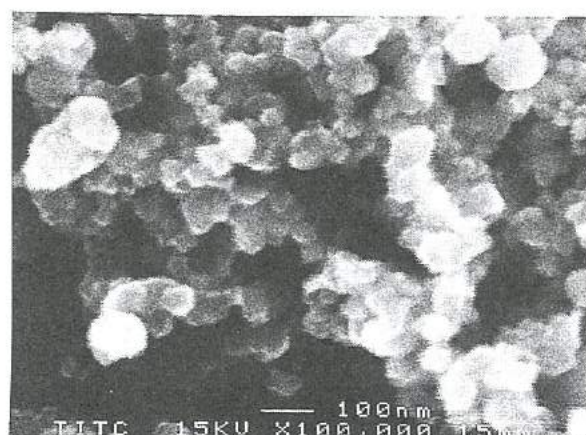


×10,000



×100,000

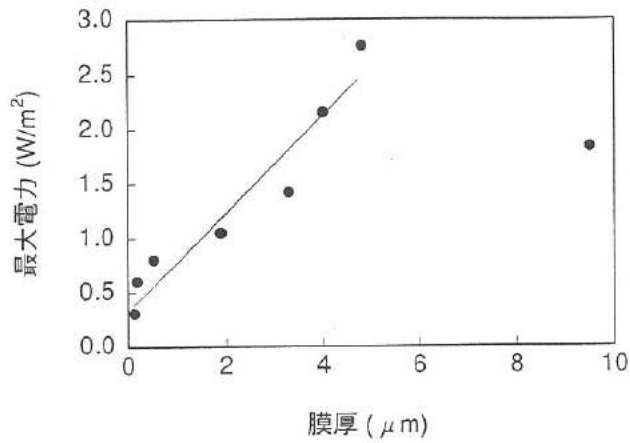
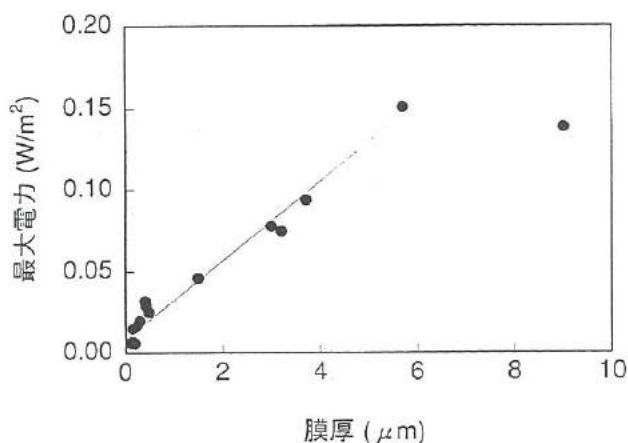
(a) TiO₂粉末の添加なし



×100,000

(b) TiO₂粉末の添加あり

図9. TiO₂膜のSEM写真
Fig.9. SEM photograph of TiO₂ film.



色素なし

色素あり

図11. 膜厚とPmaxの関係

Fig.11. Relationship between film thickness and Pmax.

しかし、膜厚が5 μm以上になると割れや剥離が発生しやすくなり、Pmaxも低い値を示した。

この方法で得られた最大膜厚は4~5 μmであり、このときのPmaxは色素なしではTiO₂粉末を添加しない場合の約10倍の0.15W/m²、色素ありでは添加しない場合の約3倍の2.8W/m²であった。この値はゾル液だけの場合の約150倍であった。

(2) 色素浸漬時間による特性

色素コートすることで性能を大幅に向上させることができたので、その浸漬時間が特性に及ぼす影響を調べた。図12は色素浸漬時間とPmaxの関係を示す。浸漬後6時間までは色素吸着量の増加により、Pmaxが増大した。しかし、その後は浸漬時間を長くしても最大電力は変化しなかった。これは吸着平衡に達したことによるものと推察する。

4.2 カソードの検討

カソード材料には本研究ではPtを用いているが、工業化を考えた場合、Ptはコストが高いためPtに替わるカソード材料に検討を加えた。また、その表面状態についても検討した。

(1) カソード材料

カソード材料として、Ni、SUS、Ti、AlおよびITOガラスの評価試験を行った。図13は種々のカソード材料のPmaxを、Ptを用いた場合のPmaxを100%として比較したものを示す。この結果、PmaxはPt>Ni>SUS>Ti>Al>ITOガラスの順になった。この序列は電子の取り出し易さを示す仕事関数に関係するものと思われる。また、Ptに替わるカソード材料としては、NiがPtの75%のPmaxを示すため、最も有力であると考えられる。

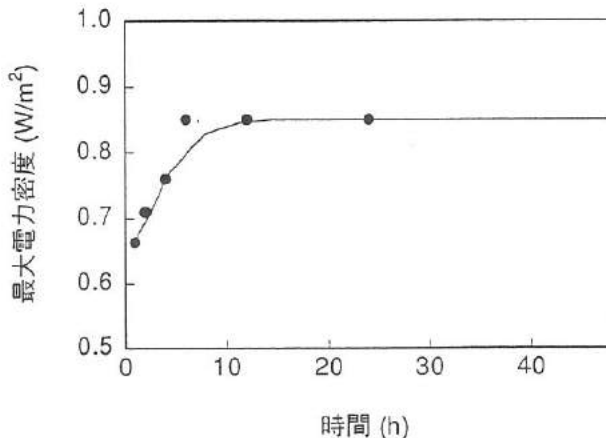


図 12. 色素浸漬時間と Pmax の関係

Fig.12. Relationship between dye soaking time and Pmax

(2) カソードの表面状態

図14は先の検討で高い特性を示したNiおよびSUSについて、表面状態の影響を検討した結果を示す。両者とも表面を粗くすることで性能の向上がみられた。これは、酸化膜の除去および表面積の増大によるものと推察する。さらに、酸化膜の影響を調査するため、表面を粗くした電極を500°Cで熱処理し、十分に酸化膜を形成させて測定を行った。その結果、Niは熱処理前と同等の性能を示したが、SUSは性能が大幅に低下した。このことから、Niの酸化膜はSUSの酸化膜に比べ、光電変換特性に影響を及ぼしにくいことが分かった。

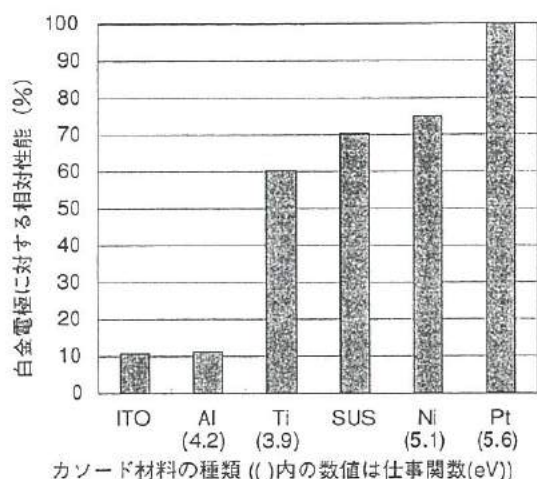


図13. 種々のカソード材料の比較

Fig.13. Comparison of various cathode materials.

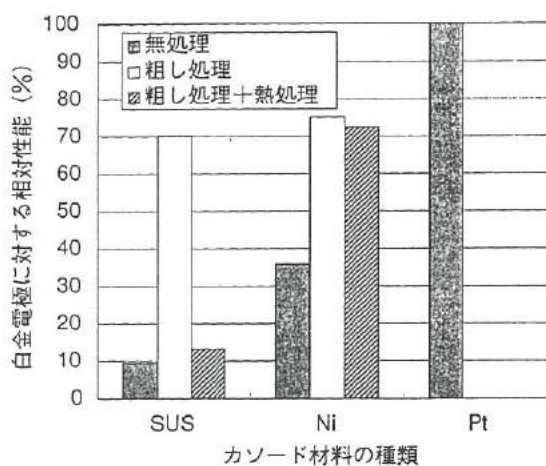


図14. カソードの表面状態によるPmaxへの影響

Fig.14. Influence of cathode surface conditions on Pmax .

4.3 電解液の検討

電解液のコストダウンと性能の向上を目的として、電解質および溶媒の検討を行った。

電解質として、従来のTPAIの1/10のコストであるNaIに検討を加えた結果、NaIはTPAIに比べて、開放電圧は低下したものの、Pmaxには変化がみられなかった。一方、溶媒については、溶媒の粘度が低下すると太陽電池の電流電圧曲線の性能の良さを表す指標であるF・F (Fill Factor) 値が上昇するとの報告がある⁽³⁾。このため、ECとANの混合溶媒とAN単独溶媒を比較した結果、単独溶媒は混合溶媒に比べて、粘度が低く、F・F値は上昇した。しかし、開放電圧が低下し、Pmaxには変化は見られず、電池特性を大きく改善することはできなかった。

4.4 電池構造の検討

(1) カソードとアノードの面積比

カソード表面状態の検討において、カソードを粗くして表面積を大きくすると、特性が大きく改善された。そこで、カソードの面積が特性に及ぼす影響について調査した。アノード面積に対するカソード面積の比を変化させたセルを作製し、Pmaxを調べた。図15は面積比とPmaxの関係を示す。図より、面積比を増大させると性能が上昇した。これは、カソード面積の増大により、カソードの反応量が多くなったためと考えられる。すなわち、カソード反応が電池特性に大きく影響していると思われる。実際に、図3に示したような電極構造でカソードの表面積を増大させるためには発泡金属などを利用することが考えられる。

(2) 電極間距離

電極間距離を短くして液抵抗を減少させることで、特性に及ぼす影響を調べた。図16は電極間距離とPmaxの関係を示す。電極間距離を約1/10にしたところ、Pmaxは約1.6倍に増大し、電極間距離が狭いほど高いPmaxを示した。

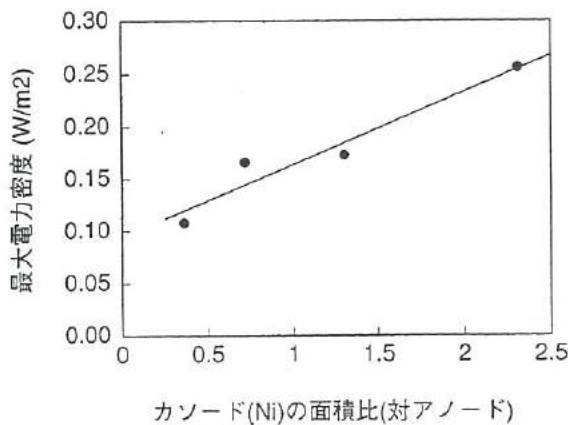


図15. 両極の面積比とPmaxの関係

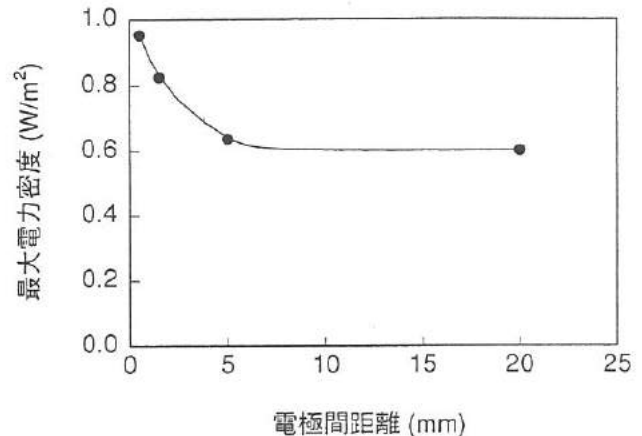


図16. 電極間距離とPmaxの関係

Fig.15. Relationship between area ratio of cathode/anode and Pmax. Fig.16. Relationship between interelectrode distance and Pmax.

5. 結 言

本研究では、TiO₂膜を用いたレドックス型太陽電池について検討し、以下の結果を得た。

- (1) アノード：ゾル液だけで作製したTiO₂膜に比べて、アナターゼ型TiO₂粉末を添加した膜ではPmaxは約10倍に改善された。また、ゾル液だけのものに色素をコートした膜ではPmaxは約50倍に改善された。
さらに、TiO₂粉末を添加し、色素もコートした膜ではPmaxは約150倍に改善された。なお、このときのPmaxは2.8W/m²であり、変換効率は約1%であった。
その他、Pmaxは焼成後のTiO₂膜の膜厚に大きく依存していて、膜厚が5μm以下では厚い膜ほど効率がよいことも確認された。
- (2) カソード：カソード材料としてPtが最も高いPmaxを示し、NiのPmaxはPtに対して、約75%であった。
- (3) 電解液：電解質を高価なTPAIからNaIに変更した場合、および溶媒をECとANの混合溶媒から粘性の低いAN単独溶媒に変更した場合のいずれもPmaxには大きな変化はみられなかった。
- (4) 電極構造：両極の面積比を比較した場合、カソードが大きいほど、また、両極間距離が狭いほど高いPmaxを示した。

参考文献

- (1) B. O'Regan, M. Gratzel: *Nature*, **353**, 737 (1991).
- (2) M. Gratzel, et al.: *J. Am. Chem. Soc.*, **115**, 6382 (1993).
- (3) A. Hagfeldt, et al.: *Sol. Energy Mater. Sol Cells*, **31**, 481 (1994).
- (4) 加藤：セラミックス, **30**, 1024 (1995).
- (5) 埴田：工業材料, **44**, 102 (1996).
- (6) 村澤：高岡, セラミックス, **31**, 833 (1996).

IV. 複数のロボットによる協調制御の研究

Study of Cooperative Control for Multiple Mobile Robot

金田 淳也
KANEDA Jun-ya

森田 裕之
MORITA Hiroyuki

藤城 敏史
FUJIKI Satoshi

藤井 弘之
FUJII Hiroyuki

鍋沢 浩文
NABESAWA Hirofumi

清水 孝晃
SHIMIZU Taka-aki

谷野 克己
TANINO Katsumi

山本 倫久
YAMAMOTO Tomohisa

Abstract

We produced two transfer robots, named "Hinoki" and "Miyabi", which cooperatively convey the loads on their tables and keep the constant distance between them so that robot do not drop one. The robot is constituted CCD camera as visual sensing, two microcomputers as control, two wheels by using of stepping motor for driving and two universal casters.

Four LED are set up at rectangle corner of the robot so that the another robot can detect easily. The relative position and the driving course of the another robot is calculated from these LED position on CCD image. The robot decides next speed and direction of own driving course by back propagation neural network used these data. Robot was able to measure that the position of another robot is less than 5 mm and the direction angle of another robot is less than 2 degree, and they judged proper course to move next.

1. 緒言

近年、ロボットに求められる能力が大規模化、複雑化してきており、従来の集中管理システムは柔軟性が乏しく、故障しやすくなっている。このため複数の知的ロボットが集まり、共通の場を形成し、各ロボットが個々の目的あるいは共通の目的を持って協調しながら行動する群知能ロボットの実現が望まれている⁽¹⁾。このようなロボットは単純機能的なロボットではなく、自分の周囲の環境を適切に把握し、作業の手順や条件などを自分で決定して、未知の環境下でも適切な行動ができる能力を持つことが必要とされる。

周囲の環境を把握する方法としては、人の五感にあたる目や耳などの機能を持つことが挙げられるが、これらのうち目に当たる視覚の情報量が最も多いと言われている。人の頭脳に当たる判断部分には、遺伝的手法やニューラルネットなどの応用が試みられているが、開発は依然として遅れている。

協調制御ロボットに期待される効果として、以下の項目が挙げられる。

- (1) 多数のロボットが協調的に振る舞うことで全体の作業能率が向上する。
- (2) 単独ではできなかった作業がお互いに協調することで可能となる。
- (3) 限られた資源を有効に利用し合うことで作業領域や生産能力が増加する。
- (4) 一つのロボットにトラブルが発生した場合、他のロボットがその仕事を肩代わりすることでシステムの信頼性が上がる。
- (5) 作業を種々の異なる方法で試みることにより、作業達成の確率が高まる。

協調制御ロボットの応用が期待される分野には、次のようなものが挙げられる。

- (1) 多リンクマニピュレータ
- (2) 搬送ロボット^{(2) (3)}
- (3) 多足走行ロボット
- (4) 自己組織化ロボット (マルチモジュールロボット)
- (5) 分散観測による画像理解

そこで、本研究では単純な知能を持つ複数のロボットを実際に試作し、これらを用いて群知能ロボットに必要な機能や基本的な特性、問題点などを明らかにすることによって、生産ラインや民生用の協調ロボットの開発の手がかりを得ることを目的とした。

2. ロボットの概要

2.1 協調ロボットの選択と構想

協調ロボットの基本的な特性を得るために、比較的単純なロボットである搬送ロボットを選択した。図1は、搬送ロボットの構想図を示す。搬送の方式は2台のロボット（檜、雅）の上にパレットをセットし、ロボット同士の距離を一定に保ちながら、パレット上に置いた荷物を落とさずに運ぶ方法とする。制御の方法は、相手のロボットの位置を把握し、相手の動作に合わせて行動する協調制御とした。

2.2 相手ロボットの位置の認識方法

搬送ロボットが行動を決定するためには、相手ロボットの相対位置や進もうとしている方向を認識する必要がある。このようなロボットの状態を認知するためには、以下のようなセンサの利用が挙げられる。

- ・光センサ
- ・超音波センサ
- ・ひずみセンサ
- ・角度センサ
- ・GPS

本研究ではセンサとして、より多くの情報が得られる光学的手法を採用することとし、視覚情報源としてCCDカメラを使用した。視覚センサから得られる情報から、相手ロボットまでの距離、自機ロボットのカメラの視線中心からの相手ロボットのずれおよび自機ロボットの進行方向に対する相手ロボットの傾き(回転角)の3つを計算した。

2.3 距離、ずれ、回転角の計算

図2はロボットの位置および姿勢の推定方法の一例を示す。

相手ロボットの位置、姿勢を画像情報から推定する方法として、4つのLEDを四角形になるようにロボットに配置し、LEDからの光をCCDカメラの結像面に写し、その画面上のLEDの座標から相手ロボットまでの距離 L および視線中心からのずれ X 、回転角 θ を計算で求める。

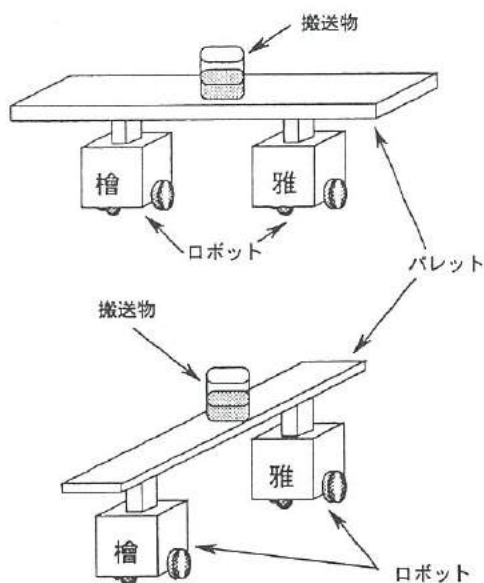


図1. 搬送ロボットの構想図

Fig.1. Idea of multiple transfer robot.

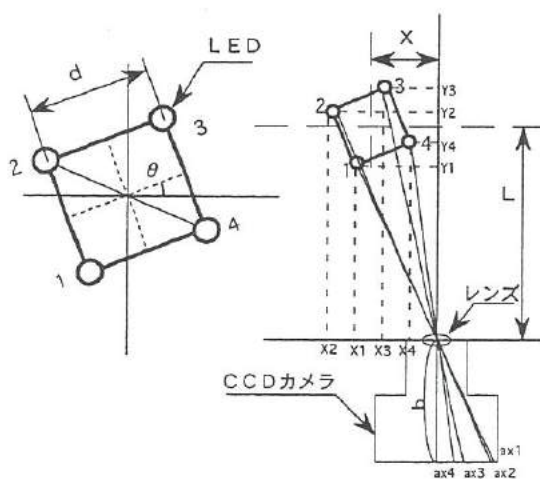


図2. 搬送ロボットの一および姿勢の推定方法

Fig.2. Location and position inference method.

<<L, X, θ計算手順>>

図2のように、CCDカメラのレンズの中心をX-Y座標系の原点に取り、各パラメータを次の様に設定する。

- ・ Xi : 各LEDのX座標
- ・ Li : 各LEDのY座標
- ・ X : 対象ロボットの中心のX座標
- ・ L : 対象ロボットの中心のY座標
- ・ θ : 対象ロボットの回転角
- ・ d : LEDの間隔
- ・ a : 画素ピッチ
- ・ b : 焦点距離
- ・ xi : 画素数
- ・ k : const (k=a/b)

ここで、 $A = \sin \theta + \cos \theta$ 、 $S = \sin \theta - \cos \theta$ とすると各LEDの座標 (Xi, Li) は、

$$\begin{cases} X_1 = X + \frac{1}{2}d \cdot S \\ L_1 = L - \frac{1}{2}d \cdot A \end{cases} \quad \begin{cases} X_2 = X - \frac{1}{2}d \cdot A \\ L_2 = L - \frac{1}{2}d \cdot S \end{cases} \quad \begin{cases} X_3 = X - \frac{1}{2}d \cdot S \\ L_3 = L + \frac{1}{2}d \cdot A \end{cases} \quad \begin{cases} X_4 = X + \frac{1}{2}d \cdot A \\ L_4 = L + \frac{1}{2}d \cdot S \end{cases}$$

LEDが3点あればX、L、θの計算は可能だが、LED2、3は相手ロボットの回転によりテーブルの支柱の影になって視認できないことがあるため、4つのLEDを用いて常に3点を視認できるようにし、その都度有効なLEDを用いて相手ロボットの認知を行う。図3はLED位置と測定座標の関係を示す。

図3の相似形から $\frac{Xi}{Li} = kxi$ としてX、L、θを求めると、LED 1、3、4を用いた場合は、

$$X = \frac{d(Sx_1 + Sx_3 + 2Akx_1x_3)}{2(x_1 - x_3)}$$

$$L = \frac{d(2S + Akx_1 + Akx_3)}{2k(x_1 - x_3)}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{-x_3 + kx_1x_3 + x_4 - kx_3x_4}{-x_1 - kx_1x_3 + x_4 + kx_1x_4}$$

LED 1、2、4を用いた場合は以下のように表される。

$$X = \frac{d(-Ax_1 - Sx_2 - kAx_1x_2 + kSx_1x_2)}{2(-x_1 + x_2)}$$

$$L = \frac{d(-A - S - kAx_1 + Skx_2)}{2k(-x_1 + x_2)}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{-x_1 + x_2 - kx_1x_2 + kx_2x_4}{x_1 - x_4 - kx_1x_4 + kx_2x_4}$$

3. 搬送ロボットの設計

3.1 搬送ロボットの設計、製作

図4はロボットの概略図を示す。搬送ロボット「檜」と「雅」の寸法は平面サイズ300mm×300mm、高さ250mmである。2台の搬送ロボットの上にバレットを置いて荷物を運ぶ時に、お互いのロボットの動きがバレットを通じて相互に干渉し合わないよう、バレットを支持するテーブルをX軸、Y軸、回転角αを自由に動く構造とした。

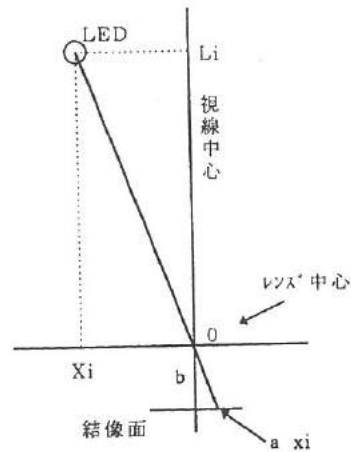


図3. LED位置と測定座標

Fig.3. Relationship between position of LED and measuring coordinates.

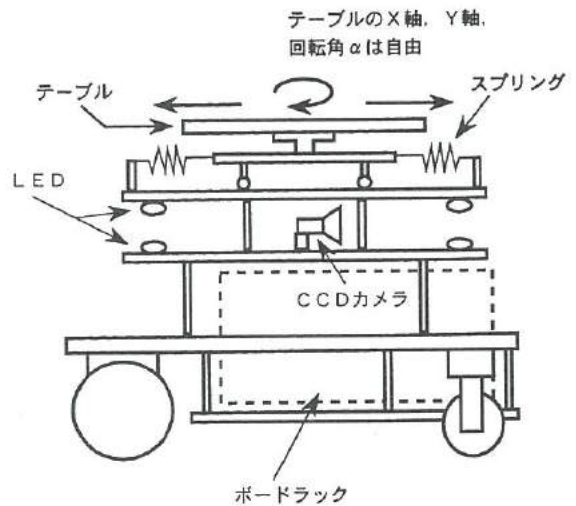


図4. 搬送ロボットの概略図

Fig.4. Appearance of transfer robot.

ロボットは4輪走行で、前輪には駆動用としてパルスモータを使用し、後輪にはフリーキャスターを使用した。ロボットの中心部付近にCCDカメラを取り付け、画像を取り込む。この時、CCDカメラに光学フィルターを付けることによって、外光の影響を受けずに相手のロボットのLEDの光だけをとらえるようにした。外部電源を使用しないで自立走行できるように、電源にはNi-Cd電池を用いた。

図5は制御および駆動システムの構成を示す。搬送ロボットはCCDカメラ、ホストコンピュータ（画像ボード付）、モータ駆動用ドライバ（Z80利用）および、2個のパルスモーターで構成した。各コンピュータは、RS-232Cで外部からデバッグ出来るようにした。ホストからZ80への命令の転送にはパラレルポートを用いた。

製作した協調ロボットは、目的地を探して進行するマスターロボットと、それに合わせて行動するスレーブロボットから成る。スレーブロボットは、以下の3つの動作の制御を行った。

- ① 速度（早い、普通、遅い）
- ② 進行（前進、停止）
- ③ 方向（左、直、右）

しかし、マスターロボットは、目的地へ行くために「方向」が必要であり、協調制御には「速度」と「進行」のみを用いた。

3.2 搬送ロボットの制御プログラム

図6は搬送ロボットの制御プログラムの制御フローを示す。

初期化処理後、CCDカメラから画像データを得る。画像上のLEDの位置から相手ロボットまでの距離 L 、ずれ X 、傾き θ を測定する。次に、入力層2、中間層4、出力層3のバックプロパゲーションニューラルネットを用いて、自機の向きを計算した。表1はこの時のニューラルネットの教師データを示す。表2はモータードライバの出力とその条件を示す。ニューラルネットの結果と、測定した距離 L の関係から表2を用いてZ80への出力を決定し、パルスモーターを駆動する。この繰り返しによって協調制御を行う。

表1. ニューラルネットに用いた教師データ

Table 1. Learning data for neural net.

グループ	ずれ X	角度 θ	turnright	neutral	turnleft
base	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0
ΔX	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0
	-1.0	0.0	0.0	0.0	1.0
$\Delta \theta$	0.0	1.0	0.0	0.0	1.0
	0.0	-1.0	1.0	0.0	0.0
$\Delta X, \Delta \theta$	0.5	1.0	0.0	1.0	0.0
	0.5	-1.0	1.0	0.0	0.0
	-0.5	1.0	0.0	0.0	1.0
	-0.5	-1.0	0.0	1.0	0.0

※ X : [mm]/50
 ※ θ : [deg]/10

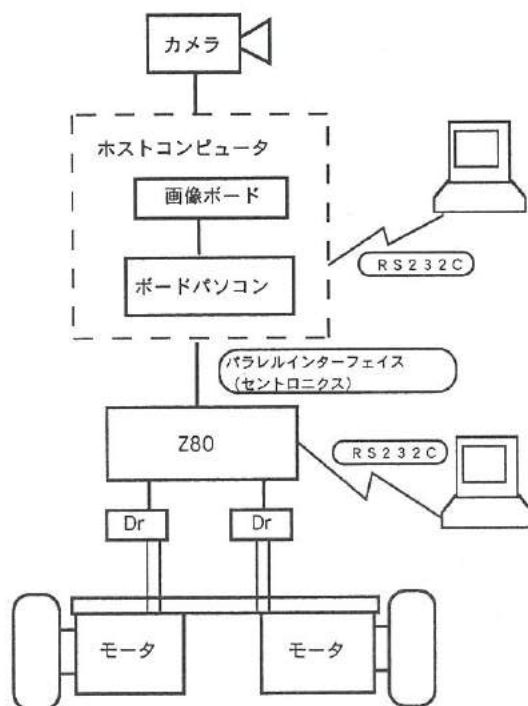


図5. 搬送ロボットの構成図

Fig.5. Construction of transfer robot.

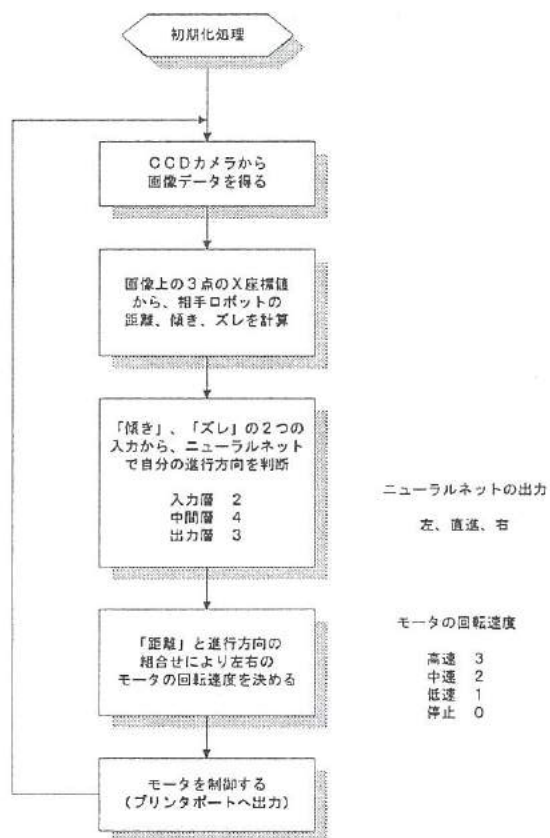


図6. 搬送ロボットの制御フロー

Fig.6. Flow chart of multiple transfer robot.

表2. モータドライバへの出力とその条件

Table 2. output to the motor and the condition.

マスター				
ニューラル	$la \leq 380$	$380 < la < 420$	$420 \leq la < 500$	$500 \leq la$
0(右)	—	—	—	—
1(中)	(fast,fast)	(mid,mid)	(slow,slow)	(stop,stop)
	0101	1010	1111	0000
2(左)	—	—	—	—

スレーブ				
ニューラル	条件			
	$la \leq 300$	$300 < la \leq 380$	$380 < la < 420$	$420 \leq la$
0(右)	(mid,stop)	(fast,slow)	(fast,slow)	(fast,slow)
	1000	0111	0111	0111
1(中)	(stop,stop)	(slow,slow)	(mid,mid)	(fast,fast)
	0000	1111	1010	0101
2(左)	(stop,mid)	(slow,fast)	(slow,fast)	(slow,fast)
	0010	1101	1101	1101

la: レンズ←中心距離[mm] モータドライバへの出力 (左モーター, 右モーター)

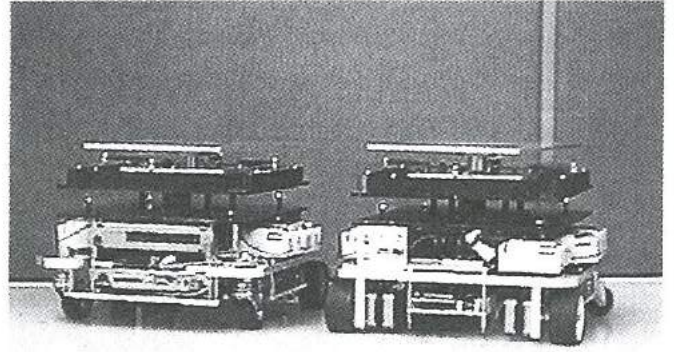


図7. 搬送ロボットの外観

Fig.7. Appearance of transfer robots.

4. 実験結果および考察

図7は製作した搬送ロボットの外観写真を示す。また、図8は CCDカメラから見た相手ロボットの映像を示す。図8-(a)、(c)のようにフィルターがない場合、LEDの認識が困難であるが、図8-(b)、(d)のようにフィルターを付けるとLEDのみが検出できた。また、ロボットまでの距離が遠い場合はLED間が狭く、近い場合はLED間が広がる結果が得られた。

4.1 CCDカメラによる相手ロボットの状態の認識

CCDカメラでとらえたデータから計算によって求めた相手ロボットの相対位置と、実際のロボットの位置について比較した。

図9はロボット間距離の計算値と実測値との差を示す。制御に使用する距離範囲(100~300mm)では、誤差は±5mm以内となった。図10は相手ロボットの回転角の計算値と実測値を示す。回転角-20~30degの範囲において、±2deg以内の誤差となった。図11は視線中心からのずれの計算値と実測値を示す。ずれ±120mmの範囲において、誤差は±5mm以内であった。以上の結果より、この測定法は搬送ロボットとして使用する上で十分適用可能なものである。

4.2 計算時間の評価

画像データから駆動パルスをもータに出力するまでの1サイクルに要する時間は、実測により約1秒となった。この時間については、CCDカメラと画像ボードを同期させたり、画像処理専用のハードウェアを使用することにより、処理時間を短縮できるものと考えている。

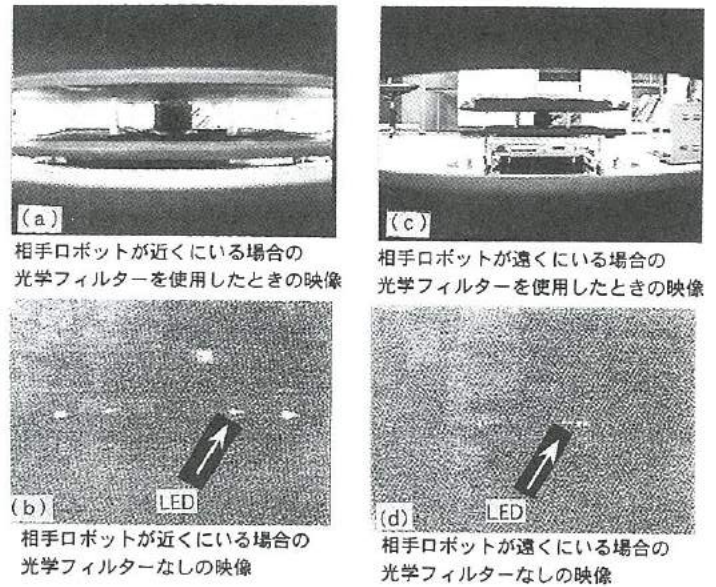


図8. CCDカメラから見た相手ロボットの映像

Fig.8. Image of the another robot observed by CCD camera.

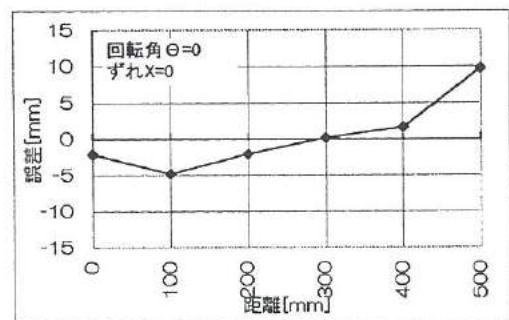


図9. 相手ロボットまでの実際の距離と計算値の差

Fig.9. Relationship between calculated position and practical distance from the another robot.

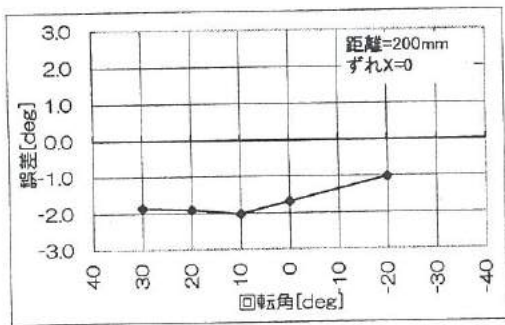


図10. 相手ロボットの実際の回転角と計算値との差

Fig.10. Relationship between calculated position and practical angle from the another robot.

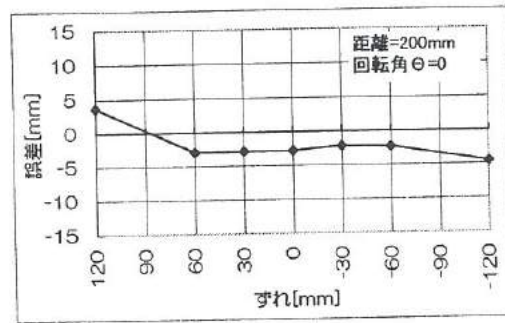


図11. 相手ロボットの視線中心からのズレと計算値との差

Fig.11. Relationship between calculated position and practical gap from the another robot.

4.3 出力結果の評価

図12は相手ロボットの位置および姿勢と自機のモーターへの出力の関係を示す。図12-(b)より、相手ロボットが視線中心上にいる場合は直進(Neutral)し、距離が離れると高速(High)、距離が近づくと低速(Slow)で進むように判断している。視線中心から外れ、相手ロボットが右に位置するときは右旋回、左に位置するときは左旋回するように判断している。図12-(d)は相手ロボットが視線中心軸に対し左に15deg向いている状態での出力結果を示す。相手のロボットが10cm右に位置する場合、自機はまっすぐ進行するよう判断している。これは、相手ロボットが自分の視線中心上に進行しようとしているからで、この傾向は、図12-(e)に示すように、左に位置し右に15deg向いている場合も同じである。さらに、図12-(a)に示すように視線中心軸に対し

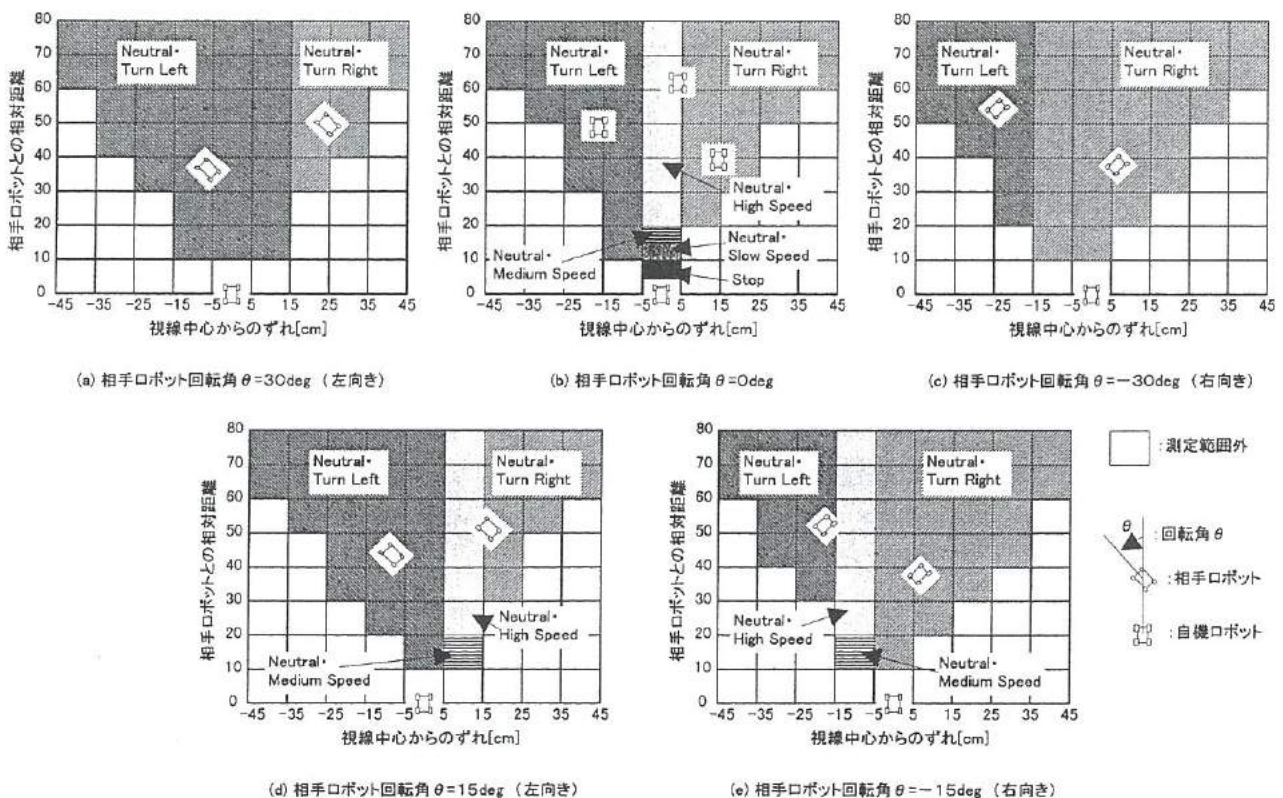


図12. 相手ロボットの相対位置、回転角とモーターへの出力の関係

Fig.12. Relationship between practical distance, angle and output to the motor.

左に30deg向いている場合は、10cm右にいる場合でも、左に進行するよう判断している。これは、相手ロボットの角度が大きい場合、自機進行方向線上を短時間で横断すると考えられ、自機も相手ロボットと同方向に向くことにより、相手に追従すると判断している。図12-(c)に示すように左に10cm位置し右に30deg向いている場合も同様である。以上の結果より、相手ロボットの相対位置、回転角とモーター出力の関係は、相手ロボットへの追従を考えた場合、有効に動作しているものと考えている。

4.4 実走行試験

固いタイヤ(プラスチック等)を使用すると、タイヤがスリップを起こし、走行することができなかった。そこで、駆動用の車輪にゴム製のタイヤを使用してみたが、この場合は摩擦によって走行負荷が大きくなり、今回使用したパルスモータではトルクが不足して走行出来なかった。

この問題の解決については高トルクタイプのパルスモーターを使用することによって解決することが可能であり、引き続き実走行実験を行う予定である。

5. 結 言

本研究では2台の搬送ロボットを試作し、種々の検討を加えた結果、4つのLEDとCCDカメラを用いることによって相手ロボットの相対位置を認識できることを確認した。また、認識した結果からニューラルネットを用いて自機の行動を決定し、モータドライバへ適当な出力信号を送っていることを確認した。

参考文献

- (1) 浅間：「複数の移動ロボットによる協調行動と群機能」、計測と制御、vol.31、No.11、p155-1161、(1992)
- (2) 中原他：「インピーダンスモデルに基づく群搬送ロボットの協調制御」、日本機械学会第69期全国大会講演論文集(VOL.C)、2204、(1991)
- (3) 橋本他：「複数の移動ロボットによる動的搬送制御方法」、日本ロボット学会誌、vol.13、No.6、p886-893、(1995)

V. 多孔質シリコンの形成に関する研究

A Study on Formation of Porous Silicon

安田 純子	石川 秀人	松田 敏弘
YASUDA Junko	ISHIKAWA Hideto	MATSUDA Toshihiro
杉森 博	鍋澤 浩文	谷野 克巳
SUGIMORI Hiroshi	NABESAWA Hirofumi	TANINO Katsumi

Abstract

Although Silicon semiconductor does not exhibit light emission at room temperature generally, porous structure formation has silicon emit visible light and new applications on integrated luminescent devices have been proposed.

In this paper, the relationship between porous formation conditions and photoluminescence (PL) were examined. Furthermore, with the electrode preparation on the porous silicon, electroluminescence (EL) devices were fabricated.

Porous silicon was fabricated by the anodization of p-type silicon pieces in a solution of hydrofluoric (HF) acid and ethanol mixture. The thickness of porous layers anodized at the current density of 1 – 50 mA/cm² for 0.5 – 60 minutes was 1 – 20 μm. Under the excitation of ultraviolet light, the porous silicon emitted red visible light, whose spectrum peak was at about 750 nm. The thickness of the porous layer was in proportion to the anodization time. Among the porous silicon fabricated, the condition of 10 mA/cm² for 1 minutes was suitable for the EL device in terms of surface morphology and PL intensity.

Conductive thin films were formed on the porous silicon as anodes of the EL cells, and silicon substrates were used as cathodes. The EL cell, which consisted of the porous layer anodized at 10 mA/cm² for 1 min and indium tin oxide (ITO) film sputtered on the surface, emitted visible light under forward bias condition. The microscope image of EL revealed that the light emission were distributed over the surface as a number of luminescent dots. Since the intensity of EL was quite weak (about 1/30 of that of PL) and the spectral distribution were different. Therefore it is considered that EL luminescent centers are different from those of PL.

1. 緒言

単結晶シリコン (Si) はバンド構造が間接遷移であり、かつバンドギャップが小さいため、発光素子化は困難であると考えられてきた。しかし、最近これを覆す可能性のある発光現象が多孔質Siで報告されている¹⁻³。単結晶Siをフッ酸 (HF) 溶液中で陽極化成するとスポンジ状の多孔質層が表面に形成される。この多孔質Siはナノメートルサイズの無数の粒子状Siからなるため、量子サイズ効果によりバンドギャップが単結晶Siより拡がり、赤色から緑色の可視光を発光する。しかし、多孔質Siの形成および発光メカニズムはまだ明確ではない。多孔質層の形成を制御し、これを利用した可視発光素子を開発することができれば、従来のLSI技術との整合性を利用して光集積回路等への応用が期待できる。また、毒性物質の多い化合物半導体や発光素子をSiで置き換えることができ、環境上からもSi発光素子の実現によるメリットは大きい。

本研究の目的は多孔質層形成条件とフォトルミネッセンス (PL) 特性の関係を調べ、その結果をもとにエレクトロルミネッセンス (EL) 素子を開発することである。

2. 多孔質Siの形成と発光の原理

図1は多孔質Si形成反応の概略を示す。試料表面にあるSi原子はH原子と結合しており、HF溶液中で陽極化成することにより、表面層からSiの溶解が始まる。まず、F⁻がSi中の正孔の供給を受けてSiと結合しているHと置き変わる。この反応が進むと最終的

にはSiはFに囲まれ、 $\text{SiF}_6^{2-} + 2\text{H}^+$ となり、HF溶液中に溶け出す。このようにしてSi基板のエッチングが進行する。このとき、試料表面に凹凸すなわち細孔があるとそこに電界が集中して電荷の注入とともにエッチングが進行し、多孔質な構造ができる。Si粒子が微細化すると量子サイズ効果によってバンドギャップが広がり、ショットキー障壁が高くなるため正孔が供給されなくなる。このようにしてエッチングの止まる部分ができるため、ナノメートルサイズのSi微結晶が形成され、多孔質Siとなると考えられている。

図2は多孔質Siの発光概念図を示す。外部からのエネルギーにより励起された電子が価電子帯で正孔と再結合するときに出すエネルギーが光となる。単結晶Siはバンドギャップが1.1eVであり、これは赤外光に相当するため、室温で可視発光はしない。しかし、多孔質SiはナノメートルサイズのSi微結晶からなるため、量子サイズ効果によってバンドギャップが2~3eVに広がる。これは赤色から緑色の可視光に相当する。このため、多孔質Siは紫外光や電界で励起することによって室温で可視発光する。

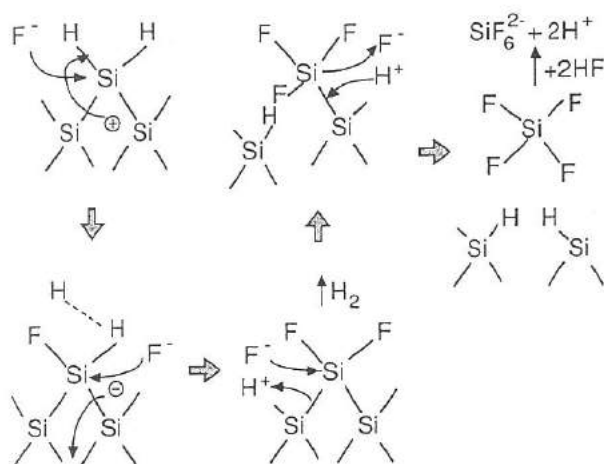


図1 多孔質層形成反応
Fig.1. Formation of porous Si.

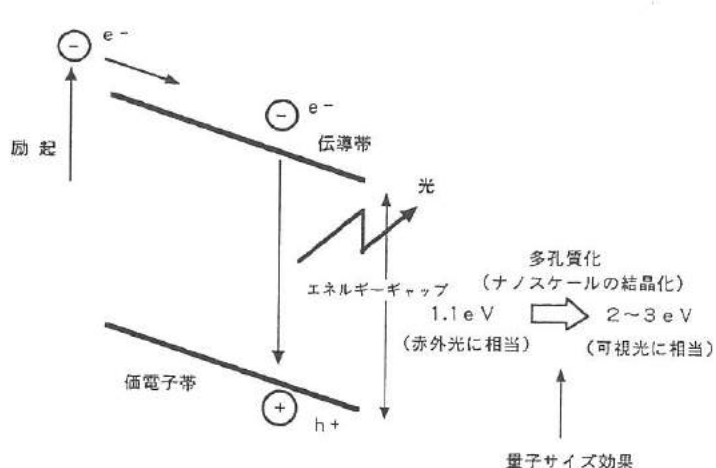


図2 多孔質Siの発光概念図
Fig.2. Principle of photon emission from porous Si.

3. 実験方法

多孔質層の形成に影響を及ぼす要因としては、Si基板、陽極化成時間、電流密度、電解液などが挙げられる。また、化成中に照射する光の強度、波長なども挙げられる。多孔質層の評価項目としては、形状、厚さ、PL特性がある。これらの項目と形成条件との関係を調べ、発光に適した条件を検討した。さらに電極形成の実験を行い、EL素子を試作した。

(1) 基板前処理

図3は試料の作製手順を示す。基板には0.45mm×45mm×45mmのSiウエハを用いた。Siウエハを1000°Cで150分ウエット酸化し、膜厚330nmの酸化膜(SiO_2)をSi表面に形成した。裏面の SiO_2 をエッチングにより除去し、p型Siに対しボロンを拡散し、高濃度の不純物相を形成した。さらに表側の SiO_2 をエッチングにより除去し、裏面には蒸着により膜厚165nmのアルミニウムを電極として形成した。

(2) 陽極化成方法

図4は陽極化成方法を示す。化成はフッ酸：エタノール=1：1の電解液中で、Siを陽極、白金を負極として電流を流す方法で行った。使用した装置は直径10cmの容器の底に直径1cmの穴をあけ、Oリングを介してSiウエハを押し当てる構造とした。このときの化成時間は0.5-60分、電流密度は1-50mA/cm²とした。

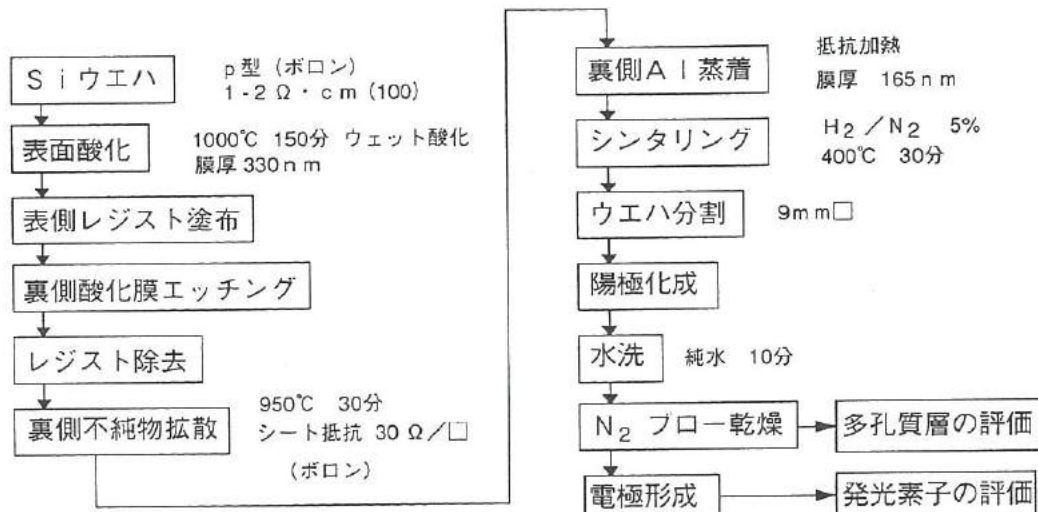


図3. 試料の作製方法

Fig.3. Preparation method of porous Si.

(3) PL測定方法

図5はPL現象の測定に用いた解析装置を示す。冷却型CCDカメラをイメージセンサおよびモノクロメータからのフォトディテクタとして使用している。340nm のバンドパスフィルタを通したキセノンランプ光を光ファイバーによって試料に照射し、PLの励起光とした。このシステムでは 400-900nm の波長の光を捉えることができる。

(4) ELセルの構造

図6はp型SiのELセルの構造を示す。多孔質層に電極としてITOをスパッタし、Si基板側に正の電圧を印加できるようにした。ITO膜の形成にはRFマグネトロン方式のスパッタリング装置を使用した。形成条件は、背圧 1×10^{-8} Torr、投入電力100W、Arガス圧 8×10^{-3} Torrおよび基板加熱なしとし、スパッタリング時間は5分とした。形成されたITO膜の膜厚は約 $0.2 \mu\text{m}$ 、体積抵抗率は $1.1 \times 10^{-9} \Omega \cdot \text{cm}$ である。また、電極材料としてAuあるいはAu+ITOについても検討した。Auのスパッタ条件は投入電力50W、スパッタリング時間は15秒とした。得られたAuの膜厚は約10nmであった。

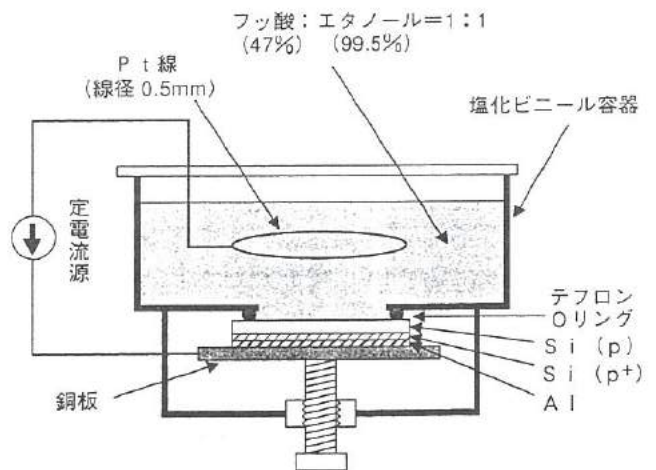


図4. 陽極化成方法

Fig.4. Method of anodization.

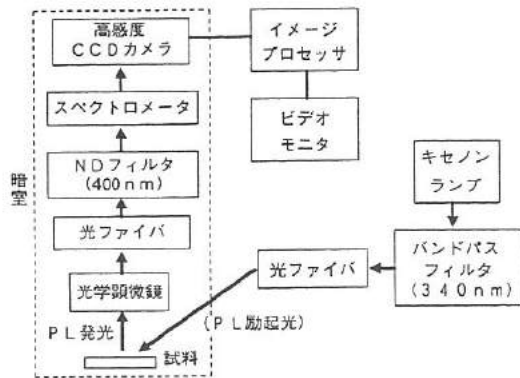


図5. PLスペクトル測定システム
Fig.5. Measurement system of PL spectrum.

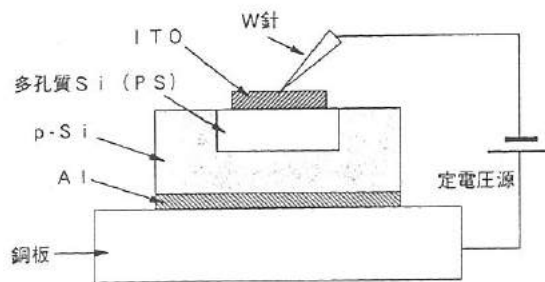


図6. ELセルの構造
Fig.6. Structure of EL cell.

4. 結果と考察

4.1 多孔質層の形態とPL特性

図7は電流密度 $10\text{mA}/\text{cm}^2$ で1-60分陽極化成を行ったときの多孔質層の走査電子顕微鏡 (SEM) 像である。化成時間1分で既に多孔質層が形成されており、化成時間と共に多孔質化が進行している。この多孔質層には数10-数100nmの微細孔が形成されている。SEMでは数10-数100nmの微細孔は確認できるが、ナノメートルサイズのものには観察できなかった。化成時間60分の試料では表面の多孔質層が剥離した。これは多孔質化が進みすぎると、試料乾燥時に水の表面張力によって多孔質層が収縮するため、クラックが生じて多孔質層が剥離したものと推察する。

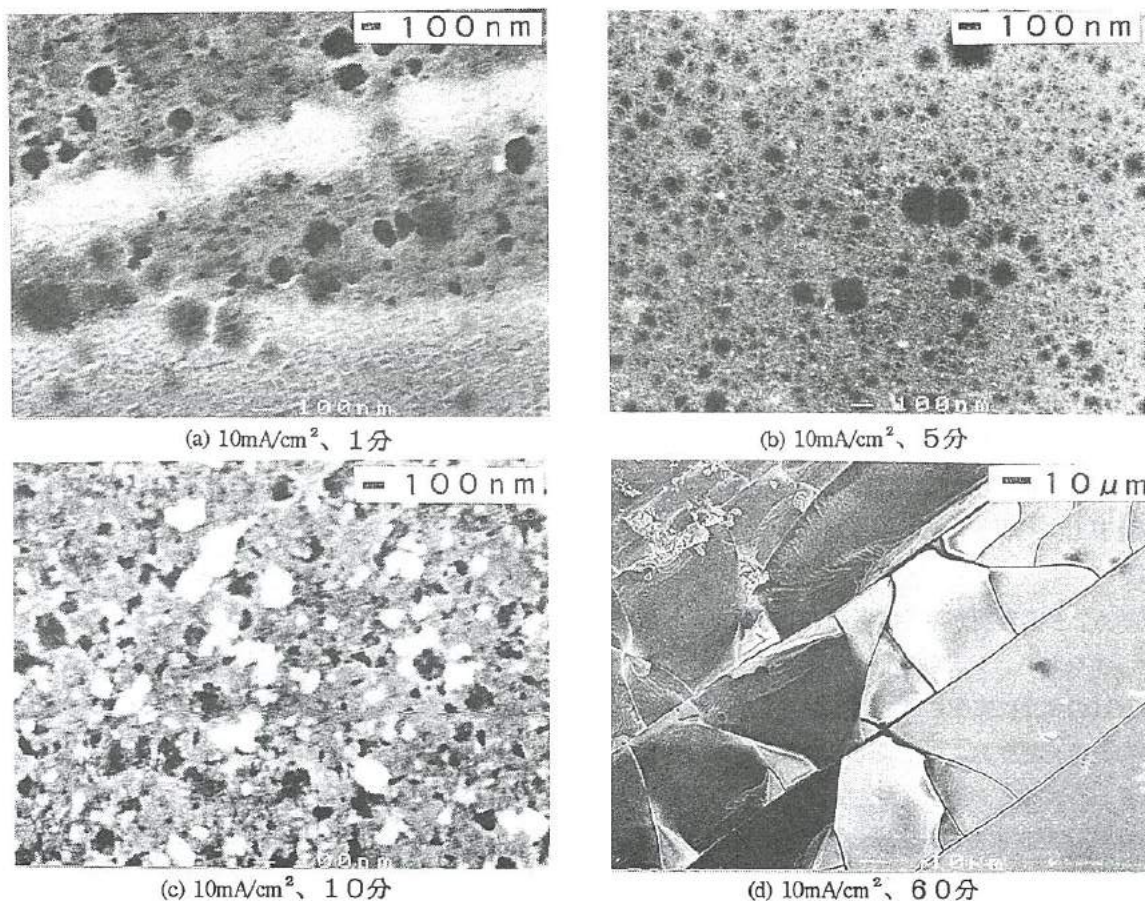


図7. 多孔質SiのSEM像
Fig.7. SEM photographs of porous Si.

図8は陽極化成時間と試料断面のSEM像から求めた多孔質層の厚さとの関係を示す。多孔質層の厚さは化成時間に比例し、電流密度が $10\text{mA}/\text{cm}^2$ では、化成時間1分で約 300nm 、60分で約 $20\mu\text{m}$ となる。

図9は 340nm の紫外光で励起した多孔質SiのPLスペクトルの化成時間依存性を示す。PLスペクトルは化成時間に依存せずほぼ一定で、ピーク波長は約 750nm にある。PL強度は化成時間の増加と共に低下する。図10はPLスペクトルの電流密度依存性を示す。電流密度の上昇と共にピーク波長は短波長側へシフトし、PL強度は化成電流密度が $10\text{mA}/\text{cm}^2$ のときに最も高い。

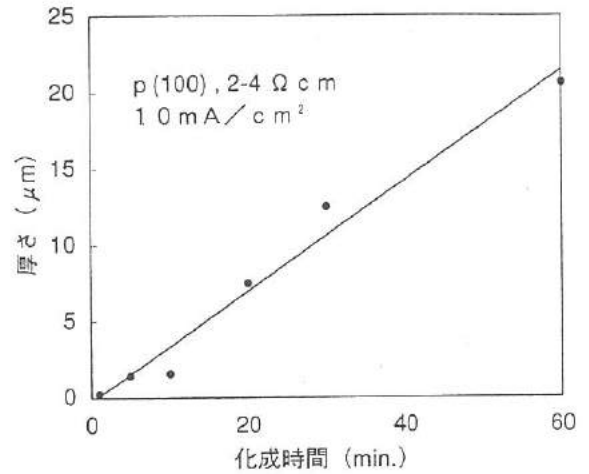


図8. 化成時間と多孔質層厚さの関係
Fig.8. Relationship between anodization time and thickness of porous Si.

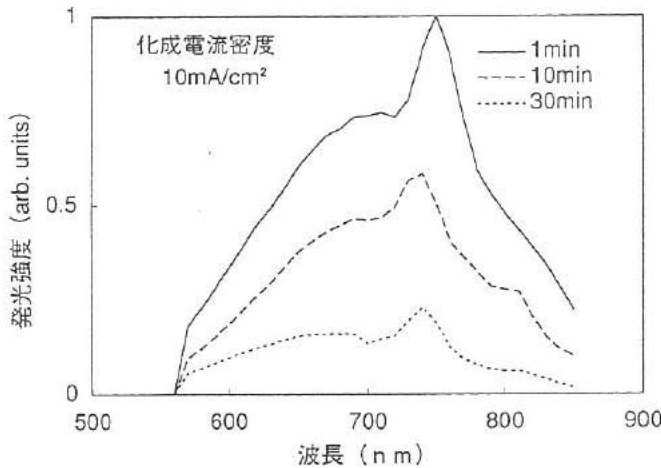


図9. PLスペクトルの化成時間依存性
Fig.9. Dependence of anodization time on PL spectrum.

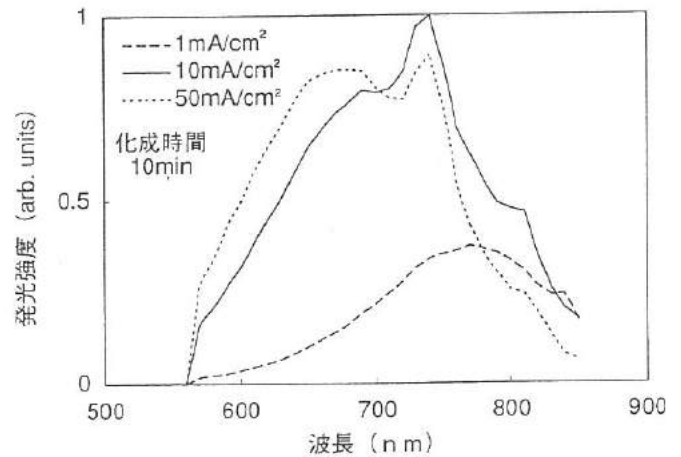


図10. PLスペクトルの電流密度依存性
Fig.10. Dependence of current density on PL spectrum.

図11は 340nm の紫外光を多孔質Siに照射して得られたPLの一例を示す。多孔質Siの部分では赤色の発光が明瞭に確認できた。この結果はPLスペクトルのピーク波長が約 750nm であることと一致する。

以上の結果から、多孔質層が厚くてもPL強度は上昇しないことが分かった。すなわち、PL強度は多孔質層全体からでなく、表面近くからだけの発光に支配されているものと考えられる。また、陽極化成時の電流密度および化成時間の増加と共に多孔質層の多孔度が上昇し、表面にクラックが生ずることから、良好なPLを得るためには電流密度は $10\text{mA}/\text{cm}^2$ 、化成時間は1分程度の陽極化成が適しているものと考えられる。EL素子形成の場合もこの条件を中心に検討することにした。

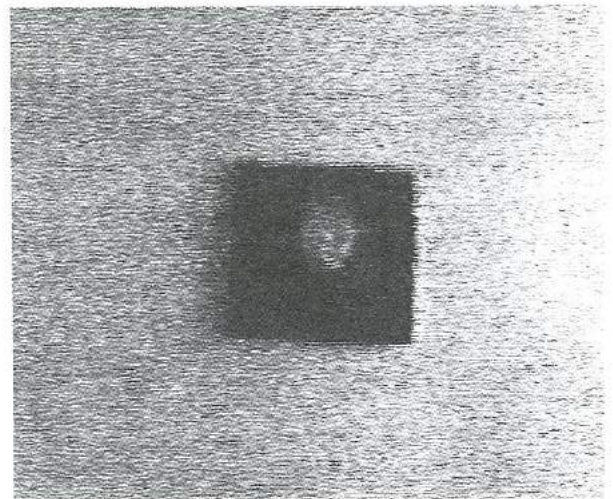


図11. 多孔質SiのPL写真
Fig.11. Photoluminescence of porous Si.

4.2 EL特性

4.1で良好なPL特性が得られた多孔質SiにITO、Au等の透明電極を形成して、EL素子の特性評価を行った。

(1) ITO膜透過スペクトル特性

ELはITO膜と多孔質Siの界面付近で発生するため、EL特性の測定はITO膜を通して行うことになる。従って、ITO膜の透過スペクトル特性をあらかじめ測定し、得られたELスペクトルを補正する必要がある。図12はITOの透過スペクトル特性を示す。測定には、多孔質Siと同じ雰囲気中でガラス基板に着膜したITO膜を用いた。450-850nmの波長領域では80%以上の透過率であるため、EL素子の電極には適している。ITO膜による吸収のため550nm前後の波長での透過率がやや低くなっている。この結果を、ELのスペクトル特性の補正に使用した。

(2) ショットキーダイオードの特性

ここで作製したEL素子はショットキーダイオードとみなすことができる。ショットキーダイオードの特性は次式で表される。

$$I \propto A \exp(qV/nkT) \quad \dots (1)$$

ここで、 I 、 A 、 q 、 V 、 n 、 k および T はそれぞれ電流、比例定数、電荷、電圧、ダイオード特性によって決まる定数、ボルツマン定数および絶対温度である。(1)式において n の値が1に近いほど金属と半導体の接触が良く、ダイオードとしての特性は良好である。多孔質Siの表面に酸化膜等が存在すると、ITOとの接触が悪くなり、 n の値は大きくなると考えられる。図13は、電流密度 $10\text{mA}/\text{cm}^2$ で1分間陽極化成して得られた多孔質SiにITO膜を形成したEL素子と、単結晶SiにITO膜を形成した素子の $V-I$ 特性を示す。図14は順方向特性を片対数で表したものであり、図に示すような2点を通る直線の傾きが n の値となる。単結晶SiにITOをつけたものは $n=3.5$ であるのに対し、多孔質SiにITO電極をつけたものは $n=9.4$ と大きな値となった。この結果から今回の多孔質SiとITO電極の接触はあまり良好ではなく、酸化膜等の境界層が形成されているものと推測できる。

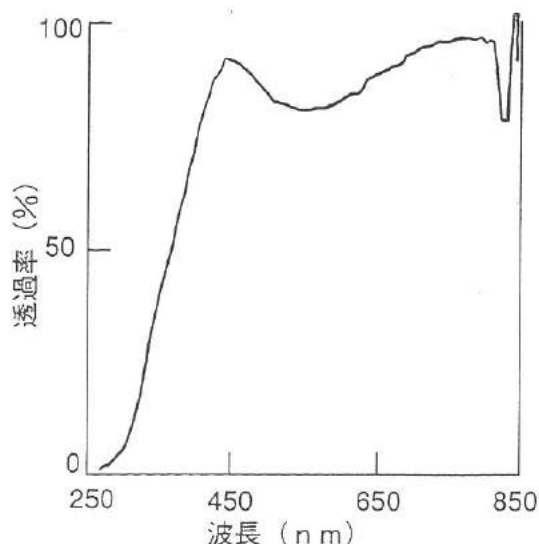


図12. ITO膜の透過スペクトル

Fig.12. Transmittance spectrum of ITO film.

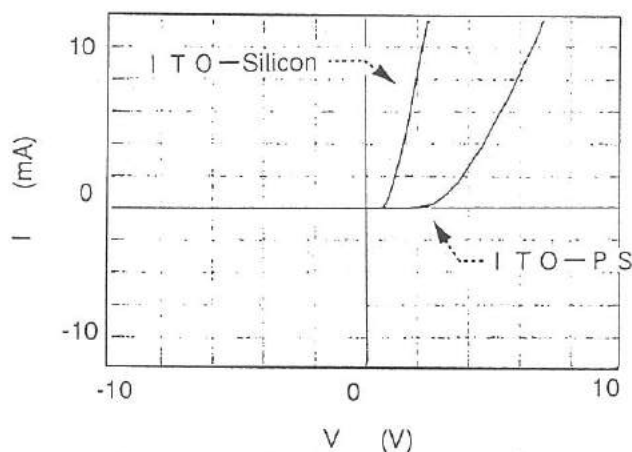


図13. ショットキーダイオードの $V-I$ 特性

Fig.13. $V-I$ characteristics of Shottky diode.

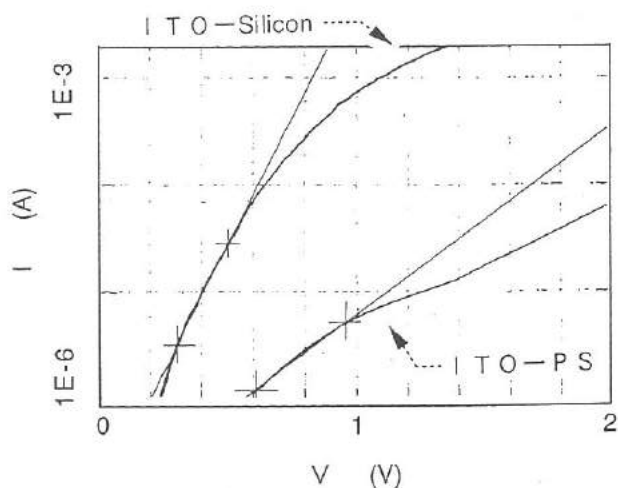
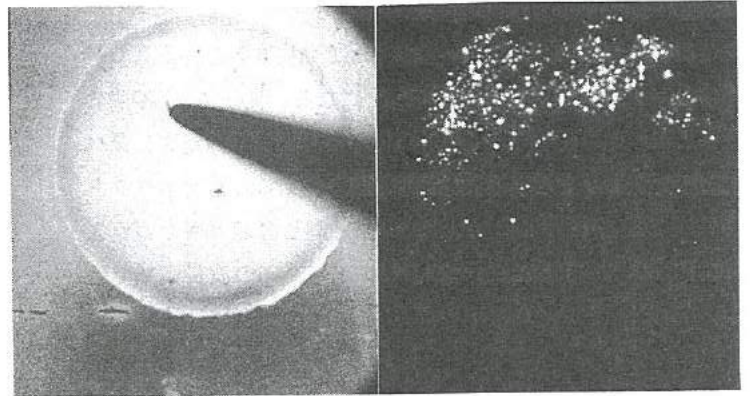


図14. ショットキーダイオードの順方向特性

Fig.14. $V-I$ curves in forward bias characteristics of Shottky diode.

(3) EL特性

10mA/cm²で1分間陽極化成して得られた多孔質SiのELセルに12A/cm²程度の電流を流すことにより、暗所で発光が確認できた。図15はこの時の発光写真を示す。発光部が点状に分布しているのは、ITOとの接触が良好な部分だけが発光しているためと考えられる。図12の結果をもとに、ITOの透過スペクトルによる補正後のELスペクトルを図16に示す。測定波長範囲の350-850nmではピークは存在せず、PLとは異なるスペクトルとなり、PLとELとでは発光中心やメカニズムが異なるものと考えられる。また、発光強度はPLの約1/30であった。



(a) 顕微鏡写真 (b) 発光写真

図15. 多孔質SiのEL写真

Fig.15. Electroluminescence of porous Si.

表1は陽極化成条件とEL素子形成後の発光の有無の関係を示す。表より発光するものは電流密度が5-10mA/cm²で0.5-1分間陽極化成した多孔質Siに限られることがわかった。また、ショットキーダイオード特性は低電流密度で短時間の陽極化成処理したものだけに見られる。高電流密度あるいは長時間の陽極化成で得られる多孔質層は、多孔質化が著しく進行しているため酸化されやすく、ITOとの接触が悪くなるため、発光しないものと推察する。

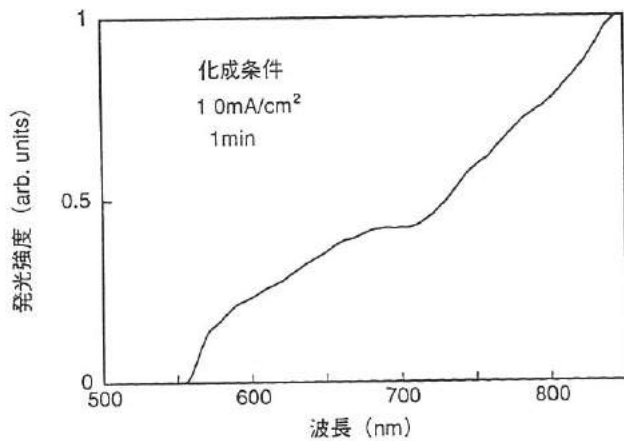


図16. 多孔質SiのELスペクトル

Fig.16. EL spectrum of porous Si.

表1. 化成条件とセル特性の関係

Table 1. Relationship between anodization condition and EL cell characteristics.

		電流密度 (mA/cm ²)				
		5	10	20	50	
化成時間	0.5分		○	△		○: 電流が流れ、EL発光する △: 電流は流れるが、EL発光はしない ×: 電流も流れず、EL発光もしない
	1分	○	○	×	×	
	1.5分	△	×			
	2.5分		×	×		
	5分		×			
	10分	×				

(4) 問題点

上記の方法で作製したELセルは再現性に問題があった。この原因として、多孔質層とITOとの間で安定な接触が得られていないことが考えられる。このため、電極材料としてAuあるいはAu+ITOを用いたELセルを作製し、発光特性の評価を試みた。しかし、これらのELセルからは発光は確認されなかった。EL素子の再現性と効率の改善には、電極の材料および形成方法等について、さらに検討を行う必要がある。

5. 結 言

多孔質Siの形成条件とPL特性の関係について検討し、さらに多孔質Siを用いたEL素子を製作して発光特性などの評価を行ったところ、以下のような結果を得た。

- (1) 単結晶Siを陽極化成することによって多孔質Siが得られ、多孔質層の厚さは化成時間に比例した。
- (2) 多孔質Siに紫外光を照射することによって約750nmにピークを持つ赤色発光が明瞭に観察された。
- (3) PL強度は陽極化成時の電流密度および化成時間の増加と共に低下し、PLスペクトルのピークは電流密度の増加によって短波長側へシフトした。
- (4) 多孔質Siに電極としてITO膜を形成したEL素子を試作し、可視発光を確認することができた。このときの陽極化成条件は電流密度が $5-10\text{mA/cm}^2$ 、化成時間が $0.5-1$ 分間であった。
- (5) ELの発光部は点状に分布し、そのスペクトルにはPLよりも長波長成分が多かった。

参考文献

- (1) L. T. Canham, Appl. Phys. Lett. **57**, 1046 (1990).
- (2) N. Koshida and H. Koyama, Jpn. J. Appl. Phys. **30**, L1221 (1991).
- (3) M. Ben-Chorin, et al, J. Appl. Phys. **77**, 4482 (1995).

VI. 高輝度蓄光性蛍光板の開発

Development of the Phosphorescence Plates with High Luminance

二見 泰雄

FUTAMI Yasuo

佐野 仁一

SANO Masakazu

高林 外広

TAKABAYASHI Sotohiro

二口 友昭

FUTAKUCHI Tomoaki

谷野 克巳

TANINO Katsumi

龍山 智榮

TATSUYAMA Chie

Abstract

Recently, it has been reported that the powder of strontium aluminate system shows the phosphorescence sustained for longer time than other materials. This powder usually used in mixed state with resin or paint. However the mixture ratio of the powder is limited lower than 30% because of the strength of composite. The luminance and heat-resisting of this composite are lower than those of the powder itself. It is expected that these properties will be improved by the sintering of the powder.

In the present work, the ceramics and films consisting of strontium aluminate "N-yakou" were fabricated by the doctor-blade coating method, and RF sputtering, respectively. The phosphorescence and heat resisting of these samples were characterized.

The obtained results are as follows;

- (1) The ceramics of "N-yakou" shows the phosphorescence.
- (2) The ceramics of "N-yakou" shows the heat-resisting over 600 °C.
- (3) The higher sintering temperature and mixing of the crushed powder and original powder are effective to obtain high brightness.

1. 緒言

最近、アルミン酸ストロンチウム系のセラミックスに稀土類を極微量添加した蓄光材料が、従来の蓄光材料に比べ格段に高輝度かつ長時間発光することが示された。しかし、この材料は粉体であるため、樹脂や塗料に混合されて利用されるが、樹脂や塗料の強度を考えると、蓄光材料の混合割合は30%程度が限界である。このため、材料本来の輝度よりも低い、耐熱性が低いなどの欠点を示す。この粉末を焼結すれば、これらの問題が解決され、高輝度かつ耐熱性に優れたバルクが作製されると期待される。そこで、本研究では、この蓄光材料の焼結条件と輝度、耐熱性の関係を明らかにすることを目的とした。

さらに、この材料を用いて透明かつ高輝度な蓄光薄膜の可能性についてしらべた。

2. 蓄光性蛍光体の概要

2.1 蛍光体の発光原理¹⁾

蛍光体の発光原理には、蛍光、燐光(蓄光)、熱発光の三種類がある。これらの原理を図1に示す。

蛍光体の母結晶中に不純物が入り込むことで形成された発光中心にある電子は、外部から受けた何らかのエネルギーにより励起され、基底状態から励起状態に押し上げられる。それと同時に電子の抜けたところが正孔となる。励起状態の電子はそのままでは不安定なので、直ちに正孔と再結合して元の状態に戻る。この再結合の際にエネルギーを光として放出したのが蛍光である。

しかし、励起状態の電子が不純物中心や結晶格子欠陥に捕えられて、直ちに正孔と再結合しない場合がある。こうした捕獲中心をもつ蛍光体は、外部からエネルギー励起が停止した後に、熱的活性化により電子が捕獲中心から解放されて再び励起状態に戻り、正孔と再結合してエネルギーを光として放出する。こうした発光現象が燐光である。通常この発光を励起が止った後に発光することから残光と称している。この捕獲中心があることによって生ずる残光は、母体結晶の化合物の組成や、不純物の種類や濃度によ

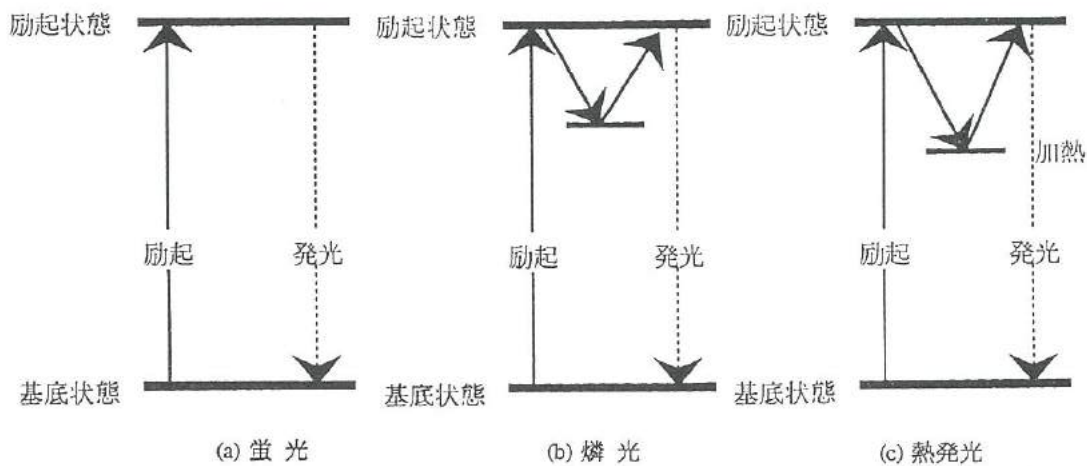


図1 蛍光材料の発光プロセス

Fig.1. Fluorescence process.

って、発光色や残光輝度、残光時間が異なってくる。捕獲中心のエネルギー深さが深いと熱的活性化に時間がかかるので残光時間が長くなり、また、捕獲中心の密度が高いと残光輝度が高くなることになる。捕獲中心が更に深くなるともはや室温程度の熱的活性状態では電子が捕獲中心から解放されなくなる。そして故意に加熱してはじめて発光する。この現象を熱発光という。

2.2 「N夜光」の特性

本研究では、アルミン酸ストロンチウム系の蓄光材料として粉末の SrAl_2O_4 : 商品名「N夜光」（根本特殊化学株式会社）を用いた。その特性を従来の蓄光材料と比較したものを表1に示す。この表に示されているように、「N夜光」は従来夜光材料に比べ残光輝度に関して約10倍明るく発光し、その光を約10倍の時間目視可能であるという優れた特性を持っている。

3. 実験方法

3.1 ハルクの作製

(1) ハルク作製の概要

ハルクの作製には、セラミックスの薄板の製造方法として一般的なドクターブレード法を用いた。「N夜光」は、その製造過程で 1300°C 以上で焼成されているとの報告²⁾があるので、 1350°C の焼結体を主として作製、その評価を行った。用いた薬品及び添加量を表2に示す。

又、今回用いたブレードは幅50 mm、高さ2 mmである。

表1 「N夜光」と従来夜光材料の特性

Table 1 Characteristics of "N-yakou" and other phosphorescence material.

項目	N夜光	従来の夜光材料
材質	SrAl_2O_4	ZnS
励起波長	200~450nm	200~450nm
発光ピーク波長	520nm	530nm
残光輝度	約 $3\text{cd}/\text{m}^2$	約 $0.4\text{cd}/\text{m}^2$
(200lxで10分間照射し、照射停止1分後の輝度)		
目視可能時間	約500分	約50分
飽和励起時間	30分	4分
結晶構造	スピネル構造	---

表2 ドクターブレード成型に用いた添加剤

Table 2 Additions for the doctor coating of "N-yakou".

種類	薬品名	添加量(%)
結合剤	ポリビニールブチラール	4.0
可塑剤	ポリエチレングリコール	4.3
	フタル酸オクリル	3.6
溶媒	トリクロロエチレン	39.0
	エタノール	15.0

(2) バルク作製手順

- ① 「N夜光」と添加剤を混合した溶液（以下、泥しよう）を、ポリ容器内で攪拌。
- ② 泥しようをシート上でプレートを用いて引き延ばす。
- ③ ②を室温で乾燥後、カッターナイフで 3cm 角に切断。（この状態をグリーンシートと呼ぶ）
- ④ ③を脱脂後、還元雰囲気中で焼結。昇温条件を図2に示す。

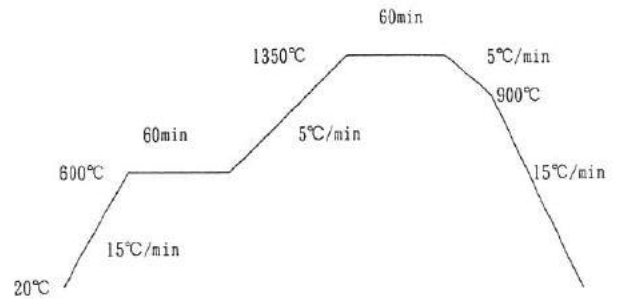


図2 蓄光材料の焼結温度条件

Fig.2. Sintering condition of "N-yakou".

3. 2 薄膜の作製

「N夜光」の薄膜化を図3に示す手順で行った。「N夜光」の市販品は粉末であるため、このままではスパッタリングできないので、ホットプレスによりターゲットを作製した。

その条件を表3に示す。

これにより作製されたターゲットをもとにRFマグネトロンスパッタ装置を用いて石英基板上に薄膜の作製をおこなった。そのスパッタリング条件を表4に示す。

「N夜光」には、粒径が小さくなるほど輝度が低下するという特性がある。スパッタリングにより作製された薄膜は非晶質であり、また、粒径が 50nm と非常に細かい。このため、結晶化と粒成長させる必要があり熱処理を行った。

表3 ターゲットの作製条件

Table 3 Fabrication conditions of target for sputtering.

サイズ	φ 75mm
焼結温度	1300°C
焼結時間	1時間
プレス圧力	113Kg/cm ²
雰囲気	Ar

表4 スパッタリング条件

Table 4 Sputtering conditions of "N-yakou" film.

Target-substrate distance	60mm
RF Power	Ar-300W
Back pressure	7.0 × 10 ⁻⁴ torr
Ar pressure	1.8 × 10 ⁻³ torr
Time	10hr
Thickness	15 μm

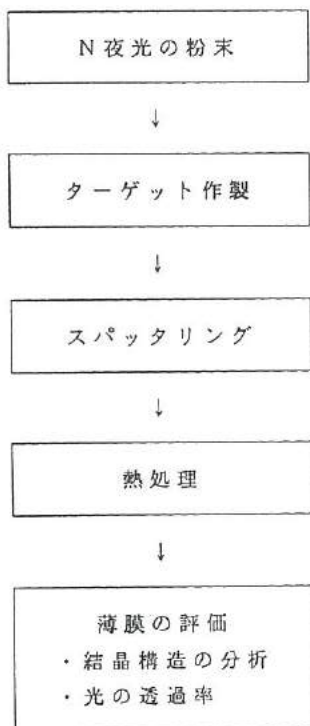


図3 薄膜作製手順

Fig. 3 Fabrication process of "N-yakou" film.

4 結果と考察

4.1 バルクの測定結果及び考察

(1) 光エネルギーの測定方法

蓄光材料の光エネルギー測定には、光パワーメーター (TQ8210 ADVANTEST) 及び、光センサー (TQ82017 ADVANTEST) を用いた。この機械の性質上、瞬間の値の測定は、波長1点のみで可能である。文献²⁾より「N夜光」の波長ピークは500nmに在ることから、この波長について測定した。なお、試験体は、蛍光灯を光源とした1230lxの明るさになる位置に放置し、励起させた後、暗室中で測定を行った。4.3以外の試験に用いた試料は、この条件で5分間の照射を行った。

(2) 光エネルギーの測定結果

図4に、比較のための各種試験体の光エネルギーを測定した結果を示す。比較試験体には、以下の物を用いた。

- ・グリーンシート
- ・「N夜光」
- ・「N夜光」をホットプレスした物
- ・シール製品
- ・樹脂製品

各試験体共、蛍光灯照射停止後、30秒ごと300秒までの測定値を示す。

バルクの光エネルギーは予想よりも低く、樹脂製品と同程度であった。焼結前のグリーンシートの光エネルギーが高いことから、焼結中、「N夜光」と添加剤の間に何らかの反応が起きていると考えられる。

光エネルギーの経時変化は、全ての試験体共、同じであった。

(3) 光エネルギー吸収の飽和時間測定

図5に、照射時間を長くした時の光エネルギー量を示す。比較試験体には、グリーンシート、「N夜光」粉末、ホットプレスを用いた。なお、光エネルギー値は照射停止1分後のものである。

この図より、10分以上の連続照射を行っても光エネルギーが上がらないことが分かる。この材料の光エネルギー飽和時間は、10分間程度であると考えられる。

(4) 耐熱性試験

バルクの耐熱性を調べた。図6は、大気中で加熱した後の光エネルギーを測定した結果である。測定値は、蛍光灯照射停止1分後のものである。

加熱は電気炉内で行い、今回 200℃から 600℃までの試験を

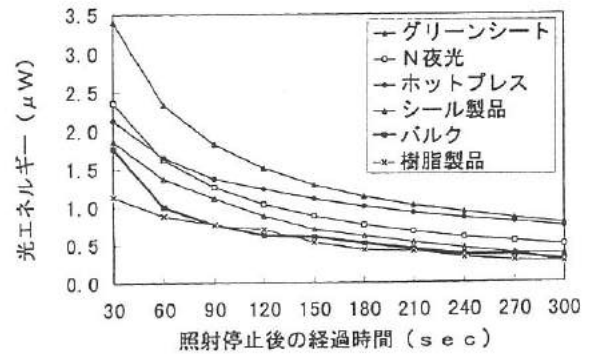


図4 各種材料の経過時間と光エネルギーの関係

Fig.4. Relationship between the time passed and light energy of various phosphorescence composite.

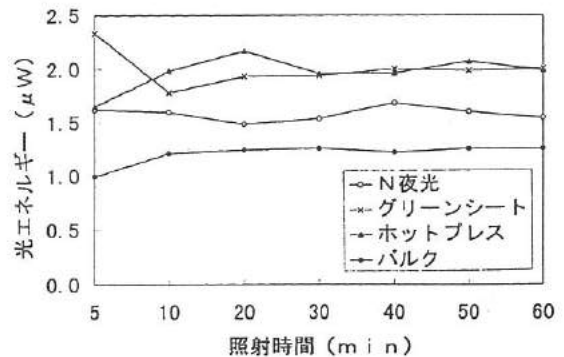


図5 光照射時間と光エネルギーの関係

Fig.5. Relationship between the apply time of light and light energy of phosphorescence plates.

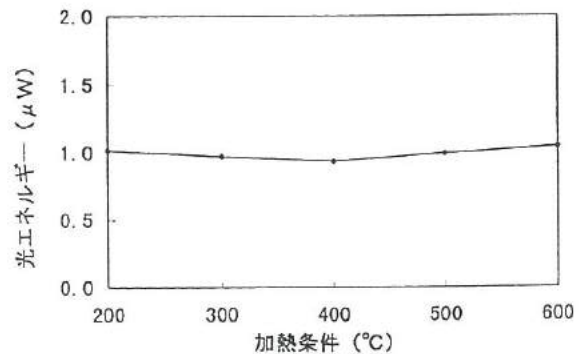


図6 熱処理温度と光エネルギーの関係

Fig.6. Relationship between the sintering temperature and light energy of phosphorescence plates.

したが、光エネルギー量に変化は無かった。この結果、バルクは 600℃以上の耐熱性を持つことが示され、高温環境での蓄光材料として使用可能な事が分かった。

(5) 焼結時間と光エネルギー

バルクの光エネルギーが低い原因として、ポーラスである、粒径が小さいということが考えられる。このため、粒径を大きくし緻密化させるため、焼結時間と光エネルギーの関係を調べた。図7に、焼結時間が1時間、及び24時間のバルクの密度、及び光エネルギーを示す。また、図8にSEM観察による結果を示す。なお、光エネルギー値は、蛍光灯照射停止1分後のものである。

焼結時間を長くすることにより、バルクの密度が高くなること、及び粒成長することが確認された。しかし、光エネルギーは低下した。この結果、焼結時間を長くしても、光エネルギーの向上は見られないことが分かった。

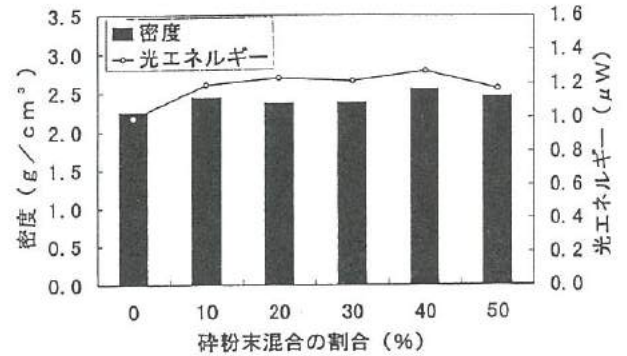


図7 焼結時間と密度および光エネルギーの関係

Fig.7. Relationship between the sintering temperature, density and light energy of phosphorescence plates.

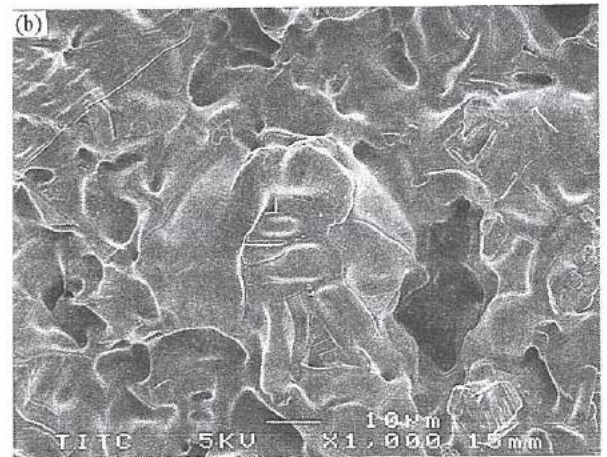


図8 焼結体（「N夜光」のみ）のSEM写真 (a) 1350℃-1Hr (b) 1350℃-24Hr

Fig.8. SEM photographs of "N-yakou" ceramic. (a) sintered at 1350℃ for 1 Hr, (b) sintered at 1350℃ for 24 Hr.

(6) 粒度調整

バルクの密度を上げるため、粒度調整による焼結を行う。「N夜光」を粉碎した物（以下、碎粉末）と原料粉末を一定量混合した。粉碎は自動乳鉢を用い、乾式中で24時間行った。

図9に碎粉末を10%から50%混合したバルクの密度と光エネルギーを示す。なお、光エネルギー値は、蛍光灯照射停止1分後のものである。

この結果、ばらつきはあるものの、碎粉末を混合させることにより、バルクの密度は若干高くなった。又、光エネルギーについてはわずかに上昇するが、大幅な改善は見られなかった。

この原因として、碎粉末はそれ自体が蓄光性を示さない事が挙げられる。図10は、碎粉末単独で焼結した物のSEM写真であ

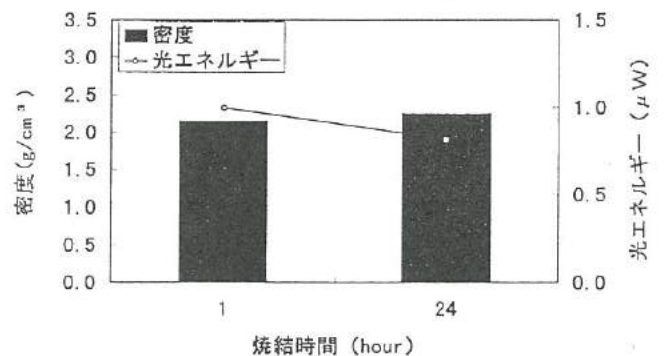


図9 碎粉末の割合と密度および光エネルギーの関係

Fig.9. Relationship between the mixture ratio of crashed powder to original powder, density and light energy of phosphorescence plates

る。焼結温度は 1350℃、焼結時間は 1 時間、及び 24 時間で作製したが、変質し蓄光は示さなかった。この結果より、砕粉末は焼結しても再び蓄光性を持つことは無く、そのために混合したバルクの光エネルギーが上がらないと考えられる。

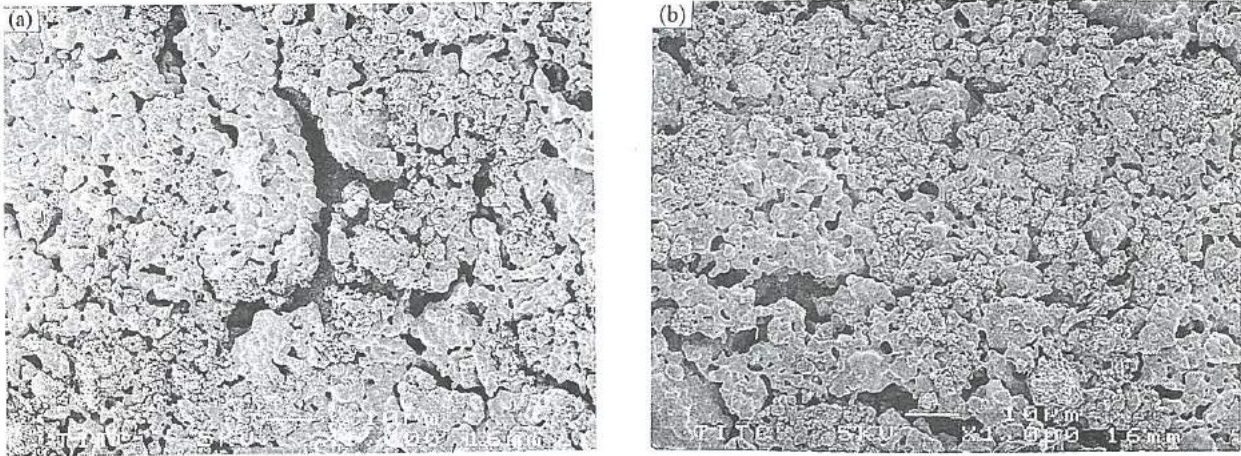


図 10 焼結体 (砕粉末のみ) の SEM 写真 (a) 1350℃-1Hr (b) 1350℃-24Hr

Fig.10. SEM photographs of "Crashed N-yakou" ceramic. (a) sintered at 1350 °C for 1 Hr, (b) sintered at 1350 °C for 24 Hr.

(7) 焼結温度と光エネルギー

バルクの光エネルギーと焼結温度の関係を調べた。焼結温度 1300℃、及び 1400℃各 1 時間のバルクを作製し、その密度と光エネルギーを測定した。砕粉末を 10% から 50% 混合したバルクを作製し測定したが、傾向は同じであったため、図 11 に砕粉末を 10% 混合した物の結果を示す。なお、光エネルギー値は、蛍光灯照射停止 1 分後のものである。

この結果より、密度は焼結温度に依存しないことが分かる。一方、高温で焼結することにより、バルクの光エネルギーが高くなることが分かった。

図 12 は、X線回折により、結晶構造を調べた結果である。1400℃で焼結したバルクのチャートのピーク位置、及び大きさは、「N夜光」に近づいていっていることが分かる。この結果からも、焼結温度を上げることは、バルクの光エネルギーを高くする有効な手段と言える。

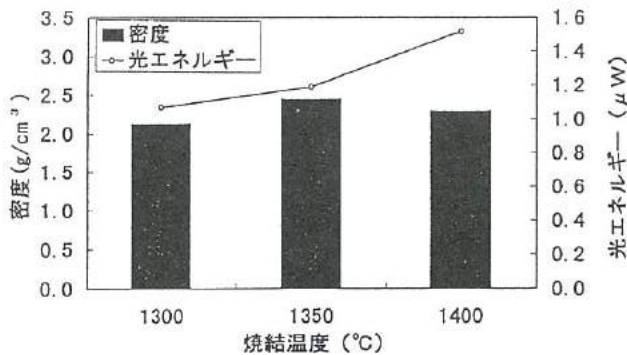


図 11 焼結温度と密度および光エネルギーの関係

Fig.11. Relationship between the sintering temperature and light energy of phosphorescence plates.

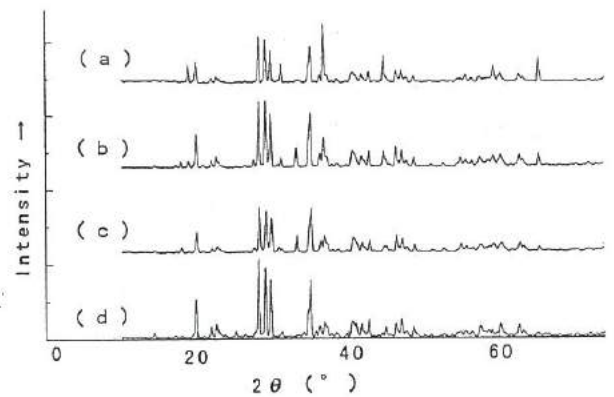


図 12 焼結温度と結晶構造の関係

(a)1300℃、(b)1350、(c)1400、(d)「N夜光」粉末
Fig.12. Relationship between the sintering temperature and crystal structure of phosphorescence plates. (a) sintered at 1300 °C, (b) sintered at 1350 °C, (c) sintered at 1400 °C, (d) "N-yakou" powder

4.2 薄膜の評価

(1) 結晶構造の分析

結晶構造同定にはX線回折装置を用いた。熱処理は、600℃、800℃、1000℃及び1200℃で行った。「N夜光」粉末と1000℃で熱処理した薄膜のピークデータを図13に示す。この結果より薄膜は、「N夜光」粉末と同じ様な結晶構造は示さなかった。さらに熱処理温度を上げると結晶化を示すピークがあらわれたものの、膜が分解により劣化した。

(2) 透過率の測定

作製された薄膜は目視では無色透明であることが確認できたが、この膜の光の透過性はどれほどなのか調べるために紫外可視分光光度計により測定を行った。「N夜光」薄膜の光透過特性を図14に示す。

その結果、500～1500nm以上の光は95%以上透過するが、500nmより急激に透過率が下がってしまい、300nm以下の波長の光となるとほとんど透過しない結果がえられた。

(3) 蓄光特性

薄膜に太陽光を十分照射したが、蓄光性はみられなかった。この原因として、以下のようなことが挙げられる。

- ・スパッタリング中における組成ずれ。
- ・結晶がスピネル構造になっていない。
- ・粒径が小さい。

3. 結言

本研究では、以下の結果が得られた。

- (1) 「N夜光」の焼結による、蓄光性を有するバルクの作製は可能である。その光エネルギーを測定したところ、樹脂等への練り混み品と同等であった。
- (2) 今回作製したバルクは、600℃以上の耐熱性能を有する。
- (3) バルクの密度と光エネルギーの相関は得られなかった。
- (4) 光エネルギーを高くするためには、焼結温度を高くする、及び碎粉末を混合するという手段が有効である。
- (5) 「N夜光」を薄膜化したところ、透明な膜が得られた。しかし、蓄光性は見られなかった。

参考文献

- (1) 工業塗装 No.132、56-63
- (2) 根本特殊化学(株)：「N夜光」特性一覧より

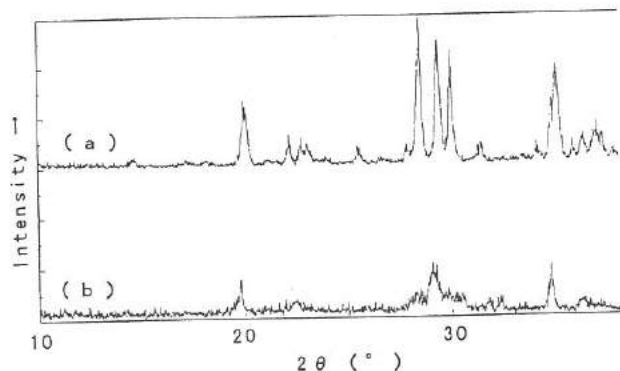


図13 「N夜光」薄膜のX線回折チャート

(a) 「N夜光」粉末、(b) 「N夜光」薄膜

Fig.13. X-ray diffraction pattern of phosphorescence films.

(a) "N-yakou" film, (b) "N-yakou" powder.

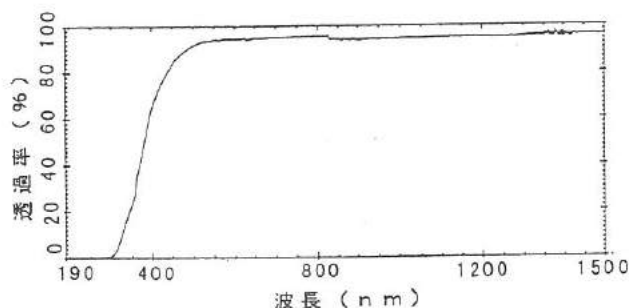
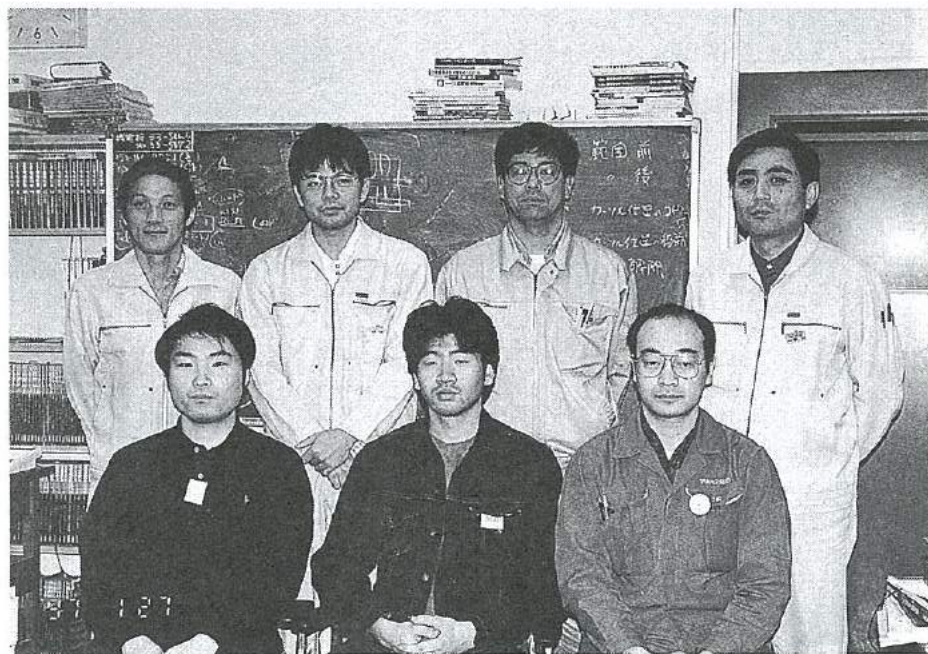


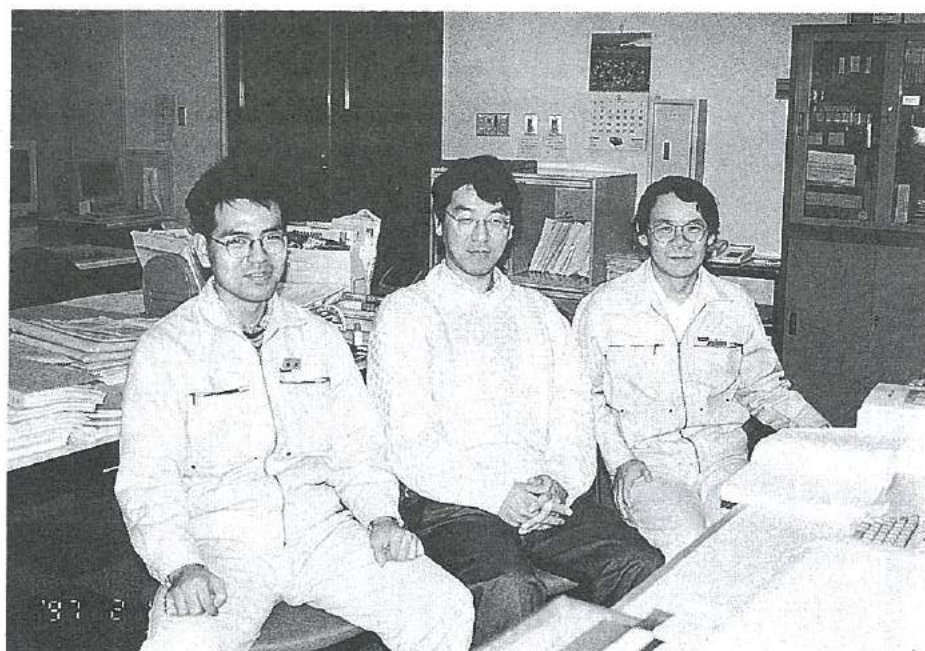
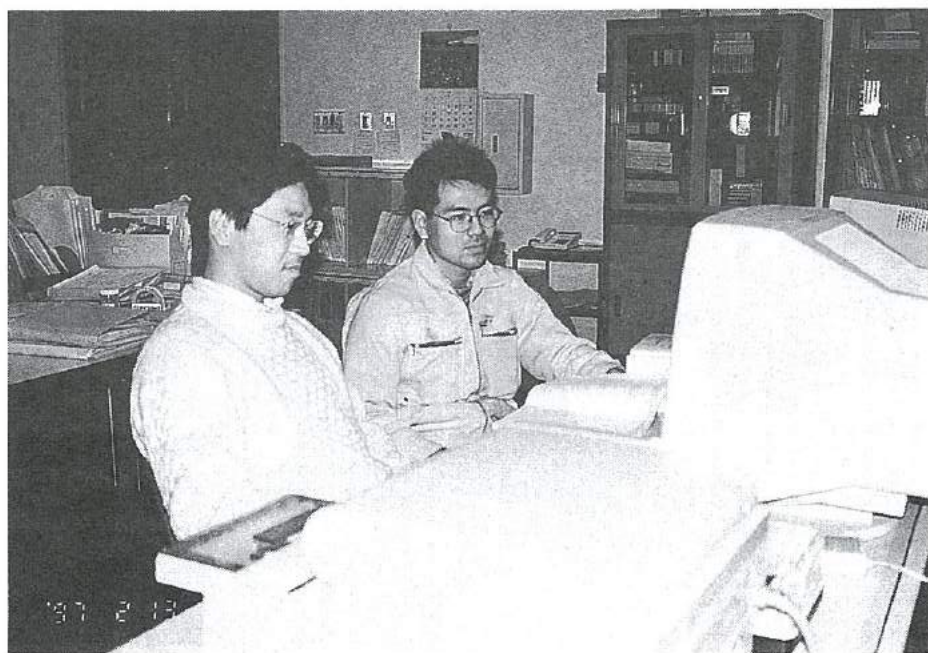
図14 「N夜光」薄膜の光透過特性

Fig.14. Transparency of "N-yakou" film.

「マイクロポンプの開発」グループの研究活動風景



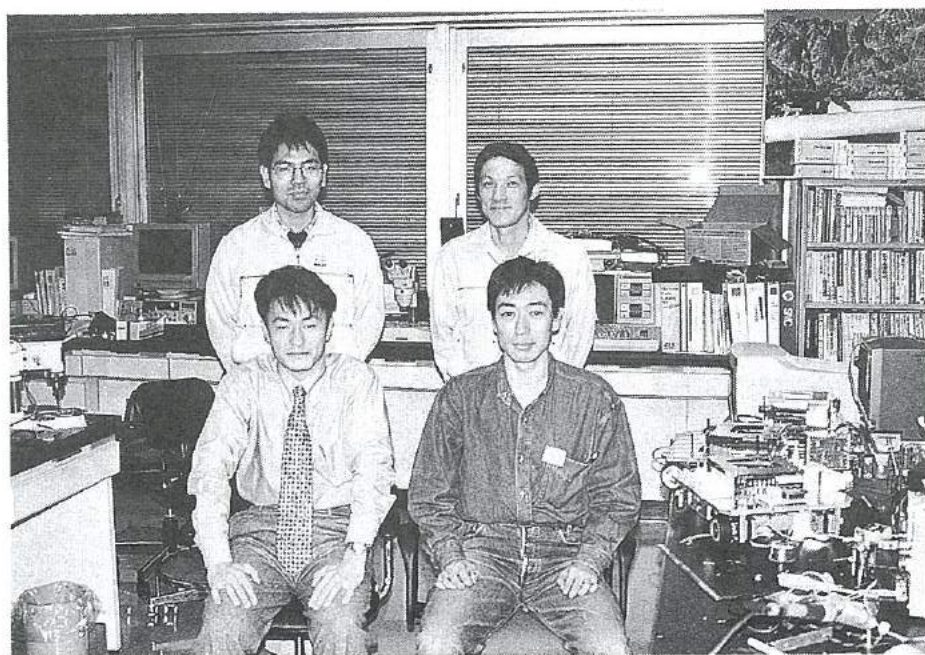
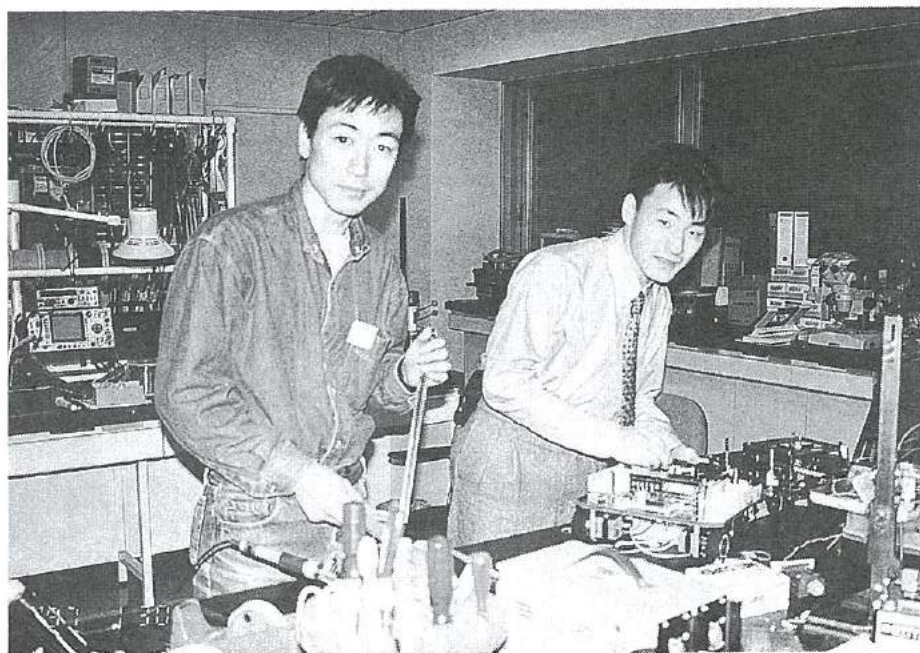
「鍛造成形シミュレーションの研究」グループの研究活動風景



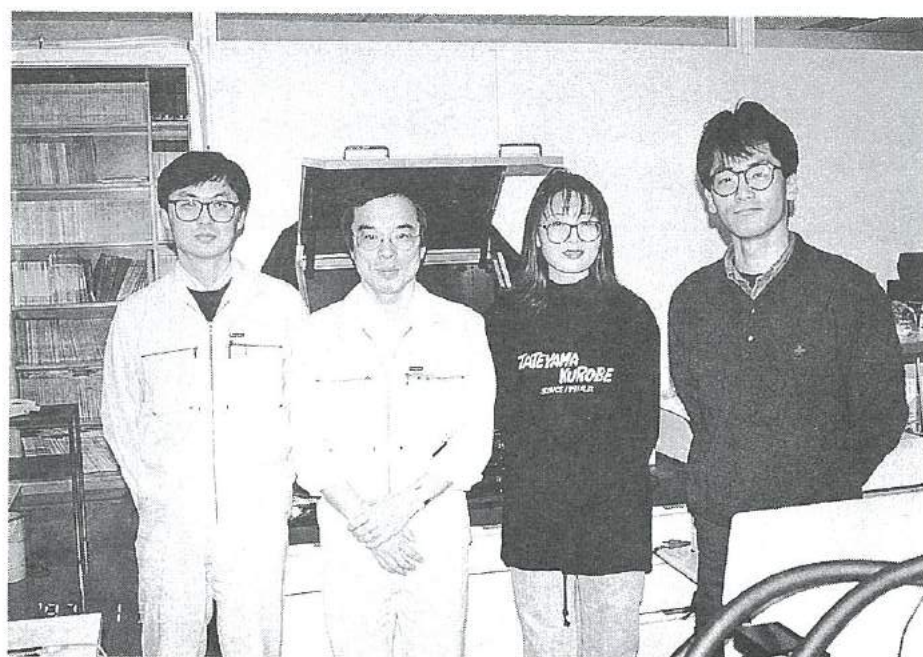
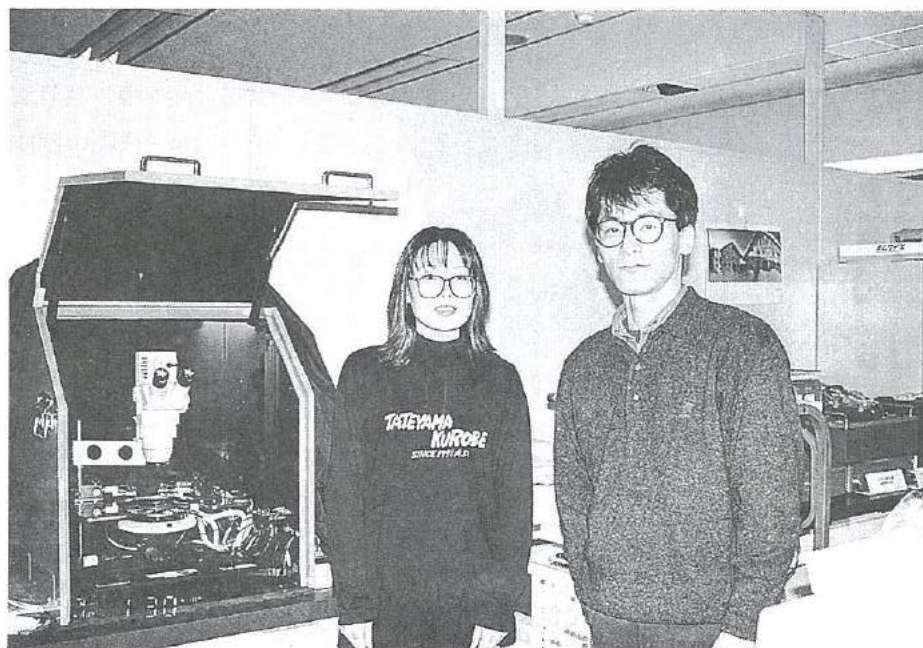
「レドックス型太陽電池の開発」グループの研究活動風景



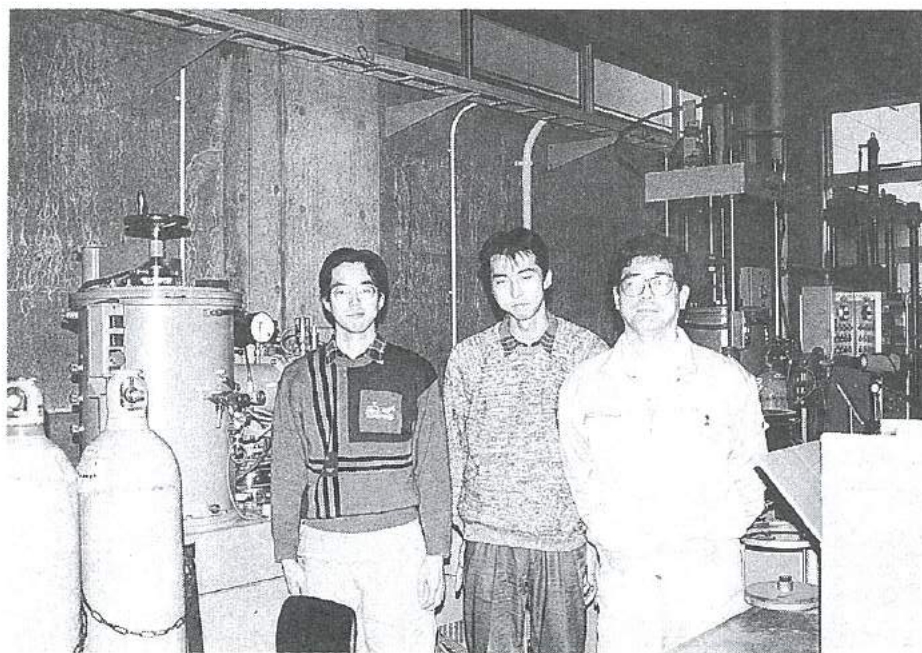
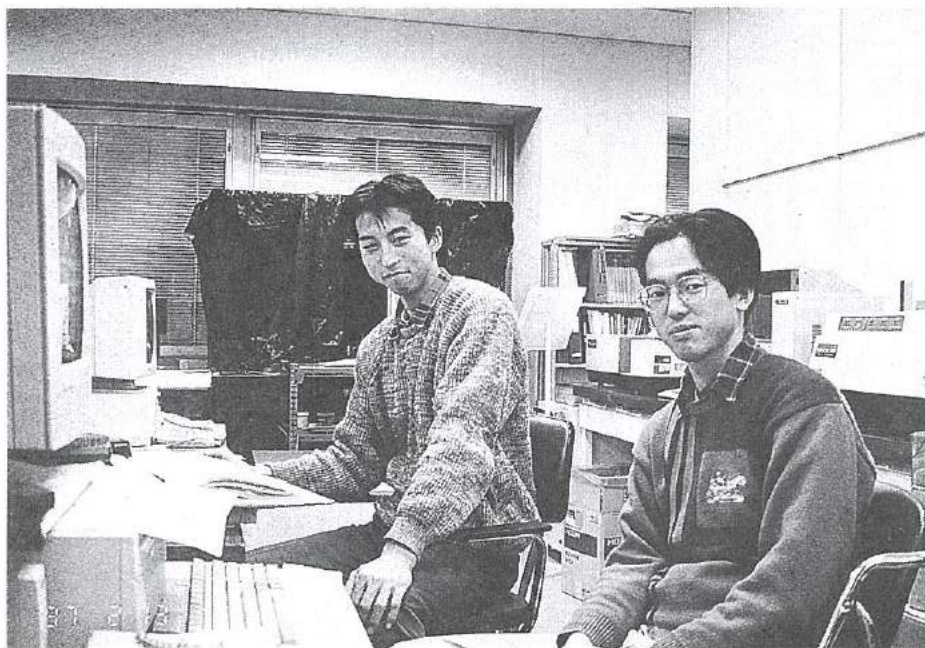
「協調制御ロボットの研究」グループの研究活動風景



「多孔質シリコンの研究」グループの研究活動風景



「蓄光性蛍光板の開発」グループの研究活動風景



「若い研究者を育てる会」の研究活動の足跡

○10年間の研究テーマ数：61テーマ（昭和62年度～平成8年度）

○参加研究員延べ人数：152名（指導機関の研究員を除く）

☆昭和62年度（第1回）研究テーマと研究参加者（3テーマ、12名）

1. 複合材料の開発—金属粉末・樹脂複合材料による射出成形用簡易金型材料の開発
竹本 要一（㈱タカギセイコー）・田上 輝次（東洋化工㈱）・長柄 勝（長柄鉄工㈱）
◎指導機関：工業技術センター富山研究所（現機械電子研究所）
2. 金属酸化物単結晶の作製とその応用開発—中高温用サーミスタの開発
岡崎 誠一（北陸電気工業㈱）・加藤 昌憲（日本鋼管㈱）・滝川 義弘（燐化学工業㈱）
堀田 孝章（立山科学工業㈱）
◎指導機関：工業技術センター富山研究所（現機械電子研究所）
3. フレキシブルハンドの開発—介護ロボット用アームの試作
石崎 浩・滝森 幸浩（タカノギケン㈱）・茨木 正則（北日本電子㈱）
西田 信孝（㈱タカギセイコー）・山田 俊一（エルコー㈱、現コーセル㈱）
◎指導機関：工業技術センター富山研究所（現機械電子研究所）

☆昭和63年度（第2回）研究テーマと研究参加者（6テーマ、21名）

1. フレキシブルハンドに関する研究—ロボット用アームの試作（Ⅱ）
石崎 浩・滝森 幸浩（タカノギケン㈱）・茨木 正則（北日本電子㈱）
窪池 義文（エルコー㈱、現コーセル㈱）・滝脇 優治（㈱タナカエンジニアリング）
◎指導機関：工業技術センター富山研究所（現機械電子研究所）
2. ZnO系セラミックス薄膜に関する研究—圧電音響素子の開発
小西 孝浩（タカノギケン㈱）・小町 秀彦（㈱タカギセイコー）・滝川 義弘（燐化学工業㈱）
平能 司（㈱和泉電気富山製作所）
◎指導機関：工業技術センター富山研究所（現機械電子研究所）
3. Co-Metal系アモルファス軟磁性薄膜に関する研究
越浜 哲夫（㈱不二越東富山製鋼所）
◎指導機関：工業技術センター富山研究所（現機械電子研究所）
4. 樹脂・ファイバー複合材パネに関する研究
池田 秀男（㈱タカギセイコー）・上段 一徳（東洋化工㈱）・長柄 勝（長柄鉄工㈱）
柳原 潔（㈱黒田精型）
◎指導機関：工業技術センター富山研究所（現機械電子研究所）
5. Pb系セラミックス薄膜に関する研究—光シャッター及び赤外線センサの開発
中溝 佳幸（北陸電気工業㈱）・水谷 里志（立山電化工業㈱）
宮沢 進一（吉田工業㈱、現YKK㈱黒部工場）・山田 義昭（東洋化工㈱）
山本 直樹（NKK（日本鋼管㈱）富山製造所）
◎指導機関：工業技術センター富山研究所（現機械電子研究所）

6. 障害者のための学習機能を有するマンマシンシステムの研究－機能的電気刺激のための上肢機能シミュレータの研究開発

古瀬 正浩 (㈱インテック)・堀井 孝 (エルコー㈱、現コーセル㈱)

◎指導機関：高志リハビリテーション病院

☆平成1年度 (第3回) 研究テーマと研究参加者 (6テーマ、19名)

1. 樹脂・ファイバー複合材に関する研究

池田 秀男・高柳 敏信 (㈱タカギセイコー)・上段 一徳 (東洋化工㈱)

長柄 勝 (長柄鉄工㈱)・柳原 潔 (㈱黒田精型)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

2. ZnO系セラミックス薄膜に関する研究－圧電薄膜音響光学素子の開発

小西 孝浩 (タカノギケン㈱)・滝川 義弘・煙田不二男 (燐化学工業㈱)

平能 司 (㈱和泉電気富山製作所)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

3. 焦電型赤外線センサに関する研究－RFマグネトロンスパッタ法によるチタン酸鉛薄膜の作製

山田 義昭 (東洋化工㈱)・吉田 孝一 (㈱タカギセイコー)

吉野 正浩 (吉田工業㈱、現YKK㈱)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

4. Co-Nb-Zrアモルファス軟磁性薄膜に関する研究

越浜 哲夫 (㈱不二越)・西田 達也 (北陸電気工業㈱)

前坂 昌春 (エルコー㈱、現コーセル㈱)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

5. 障害者のための学習機能を有するマンマシンシステムの研究－機能的電気刺激のための上肢機能シミュレータの研究開発

古瀬 正浩 (㈱インテック)・堀井 孝 (エルコー㈱、現コーセル㈱)

◎指導機関：高志リハビリテーション病院

6. 超音波メガネの研究

中村 亮 (北日本電子㈱)・中山 正明 (㈱和泉電気富山製作所)

◎指導機関：富山大学工学部

☆平成2年度 (第4回) 研究テーマと研究参加者 (7テーマ、16名)

1. 磁性薄膜の応用に関する研究－倍周波型磁気センサの開発

越浜 哲夫 (㈱不二越)・高島 誠 (エルコー㈱、現コーセル㈱)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

2. 仕上げ面粗さ自動測定装置の開発に関する研究

高柳 敏信 (㈱タカギセイコー)・田村 正行 (吉田工業㈱、現YKK㈱)

柳原 潔 (㈱黒田精型)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

◎指導機関：富山県立大学工学部

3. 圧電シートを用いた簡易超音波診断装置の開発に関する研究
尾畑 哲史（㈱和泉電気富山製作所）・山田 義昭（東洋化工㈱）
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所
4. 拡散型光導波路を用いた音響光学素子に関する研究
煙田不二男（㈱磷化学工業㈱）・若林 成喜（北陸電気工業㈱）
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所
5. 画像による寸法計測に関する研究
石黒 哲也（㈱タナカエンジニアリング）・窪池 義文（エルコー㈱、現コーセル㈱）
西浦 慎一・村井 哲雄（㈱タカノギケン）
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所
6. 超音波杖の開発
中村 亮（北日本電子㈱）・堀 登紀男（㈱和泉電気富山製作所）
◎指導機関：富山大学工学部
7. 障害者のための学習性を有するマンマシンシステムの研究－完全埋め込み型機能的電気刺激システムの研究
土田 隆一（立山科学工業㈱）
◎指導機関：高志リハビリテーション病院

☆平成3年度（第5回）研究テーマと研究参加者（7テーマ、14名）

1. 強誘電体薄膜の応用に関する研究－光書き込み型メモリの開発
玉川 勤（北陸電気工業㈱）
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所
2. 仕上げ面粗さ自動測定装置の開発に関する研究
桜栄 和則（㈱タカギセイコー）・田村 正行（吉田工業㈱、現YKK㈱）
柳原 潔（㈱黒田精型）
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所
◎指導機関：富山県立大学工学部
3. 画像による円筒内面検査装置の開発に関する研究
荒木 満男（㈱タナカエンジニアリング）・西浦 慎一（㈱タカノギケン）
山本 達生（エルコー㈱、現コーセル㈱）
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所
4. 圧電シートを用いた簡易超音波診断装置の開発に関する研究
尾畑 哲史（㈱和泉電気富山製作所）・山田 義昭（東洋化工㈱）
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所
5. 薄膜微細加工技術の研究
鮎井 俊裕（エルコー㈱、現コーセル㈱）・竹端 精己（㈱不二越）
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

6. 視覚障害者のための音声点字変換装置に関する研究

岩田 雅明（北日本電子㈱）・島野 英明（㈱インテック）

◎指導機関：富山大学工学部

7. 障害者のための学習性を有するマンマシンシステムの研究—完全埋め込み型機能的電気刺激システムの研究

土田 隆一（立山科学工業㈱）

◎指導機関：高志リハビリテーション病院

☆平成4年度（第6回）研究テーマと研究参加者（6テーマ、12名）

1. マイクロマシンに関する研究

白石 信幸（コーセル㈱）・新谷 哲也（北陸電気工業㈱）

吉井 靖岳（㈱タナカエンジニアリング）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

2. 薄膜微細加工技術の研究—トランスの試作

伊勢 寿夫（コーセル㈱）・戸田 雅規（㈱不二越）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

3. 形状測定装置の開発に関する研究

野末 昌朗（立山アルミニウム工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

4. 透明プラスチック製品の欠陥検査装置の開発

大岩 秀徳（三協アルミニウム工業㈱）・長峰 浩幸（㈱タカギセイコー）

本堂 裕（㈱斎藤製作所）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

5. 短音節認識による音声—点字変換装置に関する研究

北喜 靖規（北日本電子㈱）・島野 英明（㈱インテックシステム研究所）

◎指導機関：富山大学工学部

6. 完全埋め込み型機能的電気刺激システムの研究

土田 隆一（立山科学工業㈱）

◎指導機関：高志リハビリテーション病院

☆平成5年度（第7回）研究テーマと研究参加者（6テーマ、12名）

1. 機能性膜の微細加工に関する研究—磁気式回転センサおよび温度抵抗素子の試作

伊東 守（コーセル㈱）・森田 智之（北陸電気工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

2. マイクロマシンに関する研究

後藤 肇（コーセル㈱）・川西 和昭（三協アルミニウム工業㈱）

佐々木啓充（㈱タナカエンジニアリング）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

3. 有機電子材料に関する研究

雨野 孝信 (㈱タカギセイコー)・堀田 正人 (東洋化工㈱)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

4. リン酸塩系セラミックス固体電解質に関する研究

黒川 寛幸 (北陸電気工業㈱)・山口 睦 (㈱化学工業㈱)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

5. RIMのCAEに関する研究

杉田 孝嗣 (三協アルミニウム工業㈱)・中村 和植 (㈱タカギセイコー)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

6. 障害者のための屋内環境制御装置の開発に関する研究 (1)

五十嵐隆治 (立山アルミニウム工業㈱)

◎指導機関：高志リハビリテーション病院

☆平成6年度 (第8回) 研究テーマと研究参加者 (6テーマ、16名)

1. 視覚システムを持つ移動ロボットの開発

小山 直人 (㈱タカギセイコー)・寺本 正夫・杉谷 健 (コーセル㈱)

中村 厚平 (エヌアイシ・オートテック㈱)・松田 英雄 (㈱タナカエンジニアリング)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

2. 機能性薄膜と半導体の複合素子の開発

高柳 毅 (コーセル㈱)・田村 雅英 (北陸電気工業㈱)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

3. リン酸エッチング液の基礎研究

山口 睦 (㈱化学工業㈱)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

4. 傾斜機能膜素子の開発

市川 良雄 (富山軽金属工業㈱)・福本 滋 (北陸電気工業㈱)

三松 克次 (㈱タカギセイコー)・山下 慎也 (㈱タナカエンジニアリング)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

5. 3次元入力デバイスの開発ー (バーチャルリアリティ用)

細木 文夫 (三協アルミニウム工業㈱)・横山 大 (長岡技術科学大学)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

6. 障害者のための屋内環境制御装置の開発に関する研究 (2)

五十嵐隆治 (立山アルミニウム工業㈱)・米谷 庄一 (三協アルミニウム工業㈱)

◎指導機関：高志リハビリテーション病院

☆平成7年度 (第9回) 研究テーマと研究参加者 (8テーマ、15名)

1. 視覚システムを持つ移動ロボットの開発 (2)

大浦 真司 (三協アルミニウム工業㈱)・高田 謙一 (コーセル㈱)

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

2. 金属製品の鍛造成形シミュレーションに関する研究
永森 和久 (㈱タナカエンジニアリング)
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所
3. 電子回路用ウエットエッチング液の開発
山口 睦 (㈱化学工業㈱)
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所
4. 形状記憶合金薄膜を用いたマイクロアクチュエータの開発
高橋 伸忠 (㈱タカギセイコー)・能村 輝一 (北陸電気工業㈱)
山下 慎也 (㈱タナカエンジニアリング)
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所
5. 微動機構による機械の高度化の研究
佐野 仁一 (東洋化工㈱)
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所
6. 薄膜超磁歪素子の研究
酒井 隆正 (コーセル㈱)・谷上 英樹 (北陸電気工業㈱)
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所
7. レドックス型太陽発電システムの開発
市川 良雄・大橋 伸一 (富山軽金属工業㈱)・三井 清隆 (㈱タナカエンジニアリング)
長谷川益夫 (富山県林業技術センター・木材試験場)
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所
8. 障害者のための屋内環境制御装置の開発に関する研究 (3)
五十嵐隆治 (立山アルミニウム工業㈱)
◎指導機関：高志リハビリテーション病院

☆平成8年度 (第10回) 研究テーマと研究参加者 (6テーマ、15名)

1. 形状記憶合金膜を用いたマイクロポンプの開発
三松 克次・笹島 和明 (㈱タカギセイコー)・田島 正康 (㈱タナカエンジニアリング)
田中 篤 (北陸電気工業㈱)
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所
2. 鍛造成形の簡易シミュレーションに関する研究
松井 裕昭 (㈱タナカエンジニアリング)
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所
3. レドックス型太陽発電システムの開発 (2)
市川 良雄 (富山軽金属工業㈱)・田畑 裕信 (中越合金鋳工㈱)
三井 清隆 (㈱タナカエンジニアリング)・長谷川益夫 (富山県林業技術センター・木材試験場)
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所
4. 複数のロボットによる協調制御の研究
金田 淳也 (コーセル㈱)・森田 裕之 (立山アルミニウム工業㈱)
◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山県立大学工学部

5. 多孔質シリコンの形成に関する研究

石川 秀人（北陸電気工業㈱）・安田 純子（コーセル㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所

6. 高輝度蓄光性蛍光板の開発

佐野 仁一（東洋化工㈱）・二見 泰雄（三協アルミニウム工業㈱）

◎指導機関：工業技術センター機械電子研究所、富山大学工学部

「若い研究者を育てる会」10周年記念講演会の概要

1. 開催日時：平成9年3月1日（土） 午後2時～午後5時
2. 開催場所：名鉄トヤマホテル 4階 瑞雲の間
3. 参加人数：198名（募集予定人員：150名）
4. 講演テーマ、講師および講演要旨

①テーマ：「深海への旅」

講師：高川 真一 氏（海洋科学技術センター 深海開発技術部 研究主幹）

海洋科学技術センターに入ってから以来、一貫して潜水調査船の開発に取り組む。1989年10月に現役世界一の深海潜水記録を達成した有人調査船「しんかい6500」の開発を推進。1995年3月に世界最深部マリアナ海溝チャレンジャー海淵への潜航にロボットとして初めて成功した「かいこう」の開発責任者。現在は、深海底に孔をあけて地球内部を探る「深海掘削船」開発計画の技術部門責任者である。

要旨：海は身近にありながら宇宙に比べて関心が低い。ましてや深海は大方の興味が非常に低いのが実状である。しかし、この深海には非常に興味の深い現象が多数見られる。また、地球の成り立ちや歴史、さらに、生命現象を考えるうえで非常に興味深い。この深海を旅行案内風に紹介し、そこにいく交通手段として深海潜水艇や海中ロボットを紹介する。さらに、地球の内部構造を探る深海掘削船構想についても紹介する。

②テーマ：「F1エンジンの創造と車造り」

講師：田口 英治 氏（㈱本田技術研究所 栃木研究所 MS開発室 チーフエンジニア）

本田技研工業㈱入社後、3年程生産技術に携わった後に研究所に移籍し、以来四輪車用エンジン開発を数多く手掛け、中でもレース用エンジンは1982年より15年間担当。特に、燃料噴射システムおよびエンジンコントロールシステムの開発においては深い造詣を持つ。また、F1レーサーの開発において、海外での技術交流経験も豊富なエンジニアである。

要旨：F1エンジンの開発は、多くの技術者の創意と工夫の継続的積み重ねの結果として完成している。このエンジンを車体にどう搭載するか。そして、出来上がった車をどう熟成し、勝てる車に育てるかなど、レースの表面とは異なった地味な仕事の連続である。若い技術者と同じ環境で仕事をしてきており、つたない経験ながら今までに培ってきた技術とその創出方法などを、若い世代に伝承したい。

第3回『中学・高校生の自作ミニチュアマシン・サッカーゲームコンテスト』

1. 競技日：平成8年10月20日（日）午前10時～午後4時
2. 会場：テクノホール（富山産業展示館）・エントランスホール
3. 主催：若い研究者を育てる会
4. 共催：とやまテクノフェア実行委員会、（社）富山県機械工業会
富山技術開発財団、富山県工業技術センター機械電子研究所
5. 参加チーム：10チーム、20名
6. ゲーム結果（全チームに賞状、トロフィ、メダル、副賞授与）
 - 優勝 坂高 実・谷口 徹：富山県立二上工業高等学校
自作マシンの愛称：リチャードとマイケルコメント
 - 次勝 一戸 竜次・松尾 和明：富山県立富山工業高等学校
自作マシンの愛称：墮天使
 - 7位7賞 北野 大介・桐井 弘善：富山県立大沢野工業高等学校
自作マシンの愛称：エース ストライカー
 - 7位7賞 清水 正宏・佐伯 雅貴：富山県立大沢野工業高等学校
自作マシンの愛称：M2
 - 7位7賞 梅井 康男・黒川 大：富山県立富山工業高等学校
自作マシンの愛称：おやじーズ
 - 努力賞 中川 貴暁・古戸 大輔：富山県立二上工業高等学校
自作マシンの愛称：二上1号、2号
 - 努力賞 柏島 大輔・助野 敏明：富山県立二上工業高等学校
自作マシンの愛称：メカシューター
 - 努力賞 嘉指 彰浩・古川 利治：富山県立富山工業高等学校
自作マシンの愛称：ドジーラ
 - 努力賞 佐野 弘記・青山 秀昭：富山県立富山工業高等学校
自作マシンの愛称：のうみそ筋肉
 - 努力賞 小原 拓・森 博保：富山県立富山工業高等学校
自作マシンの愛称：鎖夜嘩（サヤカ）ちゃん
7. 試合方式
 - ・1チーム2台（攻撃マシンとキーパーマシン）による1試合2チームの対戦方式
 - ・サッカーコート寸法：90×120cm
 - ・マシンの寸法：9×9×9cm以内・有線リモートコントロール方式
 - ・試合方式：予選リーグ（A、Bの2リーグ）戦およびリーグ優勝、次勝チームによる決勝トーナメント戦方式。試合時間は5分ハーフの計10分

会 員 企 業

平成9年3月14日現在(50音順)

	企 業 名	代 表 者 名	運 営 委 員	電 話
1	(株)インテック	中尾 哲雄	河崎 哲男	0764-44-1111
2	エヌアイシ・オートテック(株)	西川 健二	西尾 謙夫	0764-91-1877
3	北日本電子(株)	中村 正夫	広野 照二	0764-51-2155
4	コーセル(株)	飴 久晴	織田 誠二	0764-32-8151
5	(株)斉藤製作所	斉藤 恵三	森本 政典	0764-68-2727
6	三協アルミニウム工業(株)	荒井 久夫	吉岡 茂喜	0766-20-2366
7	(株)タカギセイコー	高木 正明	柳本 暁雄	0766-84-9261
8	タカノギケン(株)	高野 啓良	滝森 幸浩	0764-55-2525
9	武内プレス工業(株)	武内 繁和	浅井 吉夫	0764-41-1856
10	立山アルミニウム工業(株)	竹平 栄太郎	伊藤 房男	0766-20-3121
11	立山科学工業(株)	水口 昭一郎	土井 喜一	0764-29-3588
12	(株)タナカエンジニアリング	田中 儀一郎	杉木 康之	0764-51-5600
13	中越合金鑄工(株)	本多 秀治	石金 良一	0764-63-1211
14	東洋化工(株)	中田 守人	村井 文雄	0764-75-2125
15	(有)トヤマ技術開発研究所	野中 義夫	野中 義夫	0764-23-8051
16	富山軽金属工業(株)	荒井 久夫	政 誠一	0766-84-9082
17	長柄鉄工(株)	長柄 勝	長柄 勝	0766-22-3170
18	北陸電気工業(株)	野村 正也	若林 守光	0764-67-1111
19	燐化学工業(株)	鶴田 幸靖	松本 俣博	0766-86-2511
20	YKK(株)黒部事業所	吉田 隆久	大宮 一男	0765-54-8000
事務局：(財)富山技術開発財団内 〒930 富山市高田529 TEL:0764-33-6402				
運営アドバイザー：東保喜八郎 工業技術センター中央研究所副所長 TEL:0766-21-2121				

研究会員(研究幹事)

氏 名	所 属 ・ 役 職 ・ 学 位 ・ 電 話
植 松 哲太郎	富山県立大学工学部・教授・工学博士 0766-56-2495
龍 山 智 榮	富山大学工学部・教授・工学博士 0764-41-1271
谷 野 克 巳	工業技術センター機械電子研究所・電子技術課長 工学博士 0764-33-5466
古 田 勲	富山医科薬科大学医学部・教授・歯学博士 0764-34-2281
山 本 敏 泰	高志リハビリテーション病院研究開発部・リハビリテーション工学科長 理学博士 0764-38-2233
山 本 倫 久	富山県立大学工学部・教授・工学博士 0766-56-7500

○歴代会長(会長人事は会員企業内持ち回り、2代目からは任期2年)

初代会長 飴 久晴(昭和62年度~平成4年度)

2代会長 高木 正明(平成5年度~平成6年度)

3代会長 中田 守人(平成7年度~:現 職)

☆会員企業を募集しています。県内に事業所がある企業に限ります。入会のお問合せは事務局へ。

(様式1)

「若い研究者を育てる会」入会申込書

企 業 名 (事業所名)
代 表 者 名
住所、電話番号及びファクシミリ番号 〒 TEL : FAX :
連絡担当者所属、役職及び氏名
上記のとおり貴会へ入会を申し込みます。 平成 年 月 日 企 業 名 印 (事業所名) 「若い研究者を育てる会」殿

申し込みは郵送またはファクシミリにてお願いします。

申し込み用紙は本票をコピーしてご利用ください。

その他不明な点は事務局へお問合わせください。

☆申し込み先

〒930 富山市高田529

(財)富山技術開発財団内

「若い研究者を育てる会」事務局

TEL 0764-33-6402

FAX 0764-33-6170

発 行 者	若い研究者を育てる会
発行者住所	〒930 富山市高田529 (財)富山技術開発財団 富山技術交流センター内
編集責任者	富山県工業技術センター 機械電子研究所 谷野克巳・藤城敏史
発行年月日	平成9年3月14日
印刷所	有限会社 新響社

*無断転載を禁ずる。非売品。