

# ETL NEWS

ISSN 0011-846X



## 電総研ニュース

移動ロボット群による原子カプラント巡回点検

大容量型高純度オゾン発生装置の開発

工業技術院統一公開

サイエンスキャンプ

その他

**2000.8** vol.607

# 移動ロボット群による原子力プラント巡回点検

## Robot Inspection of Nuclear Power Plant

知能システム部 知的注意制御ラボ

Intelligent Systems Division, Active Attention Control Lab.

We propose a method to realize the autonomous robot inspection of nuclear power plant by the cooperative behavior of a team of mobile robots with carrying various sensors. The experiments by the prototype system consisting of two mobile robots (one equipped with a stereo active vision sensor and the other with an active lighting system) show the capability of the proposed method.

### 1 .はじめに

原子力プラントの運用の安全性を高めるためには、プラント内部の日常点検が欠かせない。そのために、プラントの各所に測定器が設置され、流量や温度情報のフィードバックによる自己点検機能が整備されている。ただし、それらでは全ての異常を検知することは難しく、検知できたとしても、異常の状況を特定するための十分な情報を提供できるとは言いがたい。そこで、これを補うために1日数回の巡回点検が人間によって行われており、人間の五感を駆使した異常の検知、柔軟な情報収集力がプラントの安全運転のために極めて重要な役割を果たしている。ただし、人間が入れる場所は放射線量が低い区画のみであり、しかも、放射線の蓄積を避けるためにプラントに入る頻度は限られる。

そこで、この人間による点検を機械化する努力が行われている。パンチルトを制御できるテレビカメラをプラントの各所に配置し、その映像を中央制御室でモニタするシステムはすでに商用プラントに導入されている。またレールに沿って走る台車にモニタ用のテレビカメラを搭載したのもも実用化されている。ただし、プラント内部はパイプが張り巡らされた非常に複雑な構造を呈しており互いに隠蔽しあうため、すべての箇所を観測できるわけではない。無論、無数のテレビカメラを配置するか、いたるところにレールを張り巡らせればそれが可能となるが、既存のプラントに新たにそのような設備を付加することは不可能であり、経済的な面からも非現実的である。

これに対して、移動ロボットに様々なセンサを搭載しプラント内部を点検させるアプローチは現実的である。現に災害時などを想定して現場に行き所望の作業を遂行する移動ロボットの開発が進んでいる。

この場合、早期の実用化のために制御は全てオペレータが遠隔から操作する方式をとっているが、日常点検を考えた場合、オペレータの負担を軽減し、人間の操作によるミス回避するためにもロボットに適度な自律性を持たせることが望ましい。そこで、プラント内を自律的に動き回り、点検に必要な情報を収集する移動ロボットの研究を行った。

### 2 .プラント点検システムの開発

先にも述べたようにプラント点検において人間はすべての感覚を駆使して異常の有無を判断している。つまり、その機能を代替するプラント点検ロボットにも、視覚センサをはじめとして、聴覚センサ、放射能センサなど可能な限り多様なセンサを搭載する必要がある。ただし、移動ロボットの積載能力には限界がある。そこで、複数の移動ロボットにセンシング機能を分散して装備し、ロボット群の協調によりプラント点検を実現する。これにより、多くのセンサの搭載が可能になるだけでなく、新しいセンサの追加や、ロボットのメンテナンスが容易になる。さらに、移動ロボット群のフォーメーションによりセンサの自由な配置が可能になるなどセンシングの柔軟性が増す。

原子力プラントのように複雑な環境下で安全に移動しつつ点検情報を収集するロボットにとって、視覚センシング機能は極めて重要である。点検情報の収集のためには高い解像度が望ましいが、安全に移動するには視野はできるだけ広い方が良い。焦点距離の異なる2種の視覚センサを用いればこれが可能となるが、システムは複雑になり、メンテナンスの観点から好ましくない。我々は先にロボットのための汎用的な視覚システムとして、人間の視覚メカニズムを模擬して人間型能動視覚システムESCHeR (the ETL



写真1 ESCHeR カメラヘッド

Stereo Compact Head for Robots)を開発した(電総研ニュース1998年9月号で紹介)。ESCHeRはステレオカメラヘッド(写真1)と画像処理装置からなり、カメラヘッド全体のパン、チルト、および、左右のカメラの輻輳角を高速に制御できる能動視覚である。さらに、各カメラは特殊なレンズを装着している。そのレンズの投影は視野の中心で解像度が高く周辺で低くなるよう設計してあるため、局所的に解像度が高くかつ広い視野の画像を通常サイズの1枚の画像として獲得できる(写真2)。つまり、ESCHeRを使えばロボットは環境中の任意の箇所を視野の中心でとら



写真2 ESCHeRによる入力画像



写真3 プラント点検システム

え詳細な点検情報を獲得できると同時に、周辺視野では自身を取り巻く環境の広範な情報を得ることができるため、点検箇所の情報を収集しながら安全に移動することが可能となる。

このESCHeRを主要なセンサとして、移動ロボット群によるプラント点検システムのプロトタイプを構築した。移動ロボットは現在のところ2台であり、移動ベースには市販の車輪型全方位移動ロボットを採用した。1台にESCHeRを搭載し、もう1台に可動照明システムと音響センサを搭載した(写真3)。可動照明は光源の位置と照射方向を能動的に制御でき、視覚情報の獲得を補助する為に主に使われる。音響センサは雑音から特定の音を抽出しその方位を同定できるので予期しない異常の検知に適している。

### 3.プラント点検行動の実現

プラント点検ロボットは点検箇所の情報の収集のために、与えられた点検プランに従い、点検箇所を観測しつつ正確に移動でき、さらに、検知した異常候補箇所に適応的に移動し、より詳しい情報を獲得することが必要である。これをロボット群の自律的な協調行動により実現することが課題である。

これらの行動を実現するためには、いかにプランにしたがって正確に目的地点に移動できるかが鍵となる。さらに協調のためには互いの位置関係を正確

に知ることが重要である。使用した移動ロボットベースには内界センサからの情報（車輪の回転数や操舵角）から自身の位置を推定する、いわゆるオドメトリ機能があるが、車輪と床面とのスリップなどによりその推定には誤差が存在し、巡回点検のように長い距離を移動するとこれが蓄積して、その結果位置推定が大きくずれてしまう。これを防ぐためには、何らかの外界センサによる情報を用いてオドメトリのみによる位置推定を改善する必要がある。そこでESCHeRの注視機能に基づいて複数のロボットの位置を実時間で正確に推定できる手法を開発した。

ESCHeRは環境中の特徴を注視（左右のカメラで特徴の像を視野の中心で捕らえること）することにより、そのときのパン、チルト、輻輳角からその特徴と自身との相対位置をかなり正確に計測できる（図1）。よって移動前に計測した環境中の特徴を、移動後に再び計測することにより、この計測値に基づいてオドメトリのみによる位置推定を補正できる。ただし、ESCHeRによる計測にも誤差が存在するので、この誤差の性質を考慮して位置推定を更新する（具体的には拡張カルマンフィルタを用いている）。つまり、ロボットは移動、オドメトリによる位置推定の更新、ESCHeRによる環境特徴の計測、そして計測値に基づく位置推定の更新、をくり返す。この過程でロボットは自身の位置だけでなく、環境中の特徴の位置を、その推定の確からしさとともに獲得する。図2において四角がロボットの位置、ドットが特徴の位置をあらわし、楕円によりその推定の確からしさをあらわしている。緑が推定であり、赤が真値をあらわす。ESCHeRによる特徴の位置計測誤差は視線方向に大きくなるため、一方向からしか観測されなかった特徴の確からしさの楕円はその方向に長く伸びている。同じ理由からロボットの位置推定の確からしさも、一方向の特徴ばかり観測していると、その方向の推定誤差が増える。つまり、位置推定の誤差を効果的に改善するには大きく異なった方向の特徴を計測すれば良いことがわかる。従来のロボットに固定した視覚ではこれが困難であったが、ESCHeRのような能動視覚によれば容易に実現できる。

位置推定のために計測する環境中の特徴は、観測画像上での見え方が際立つものとし、それをその見え方とともに地図に加える。移動と計測の繰り返しにおいて、地図上のどの特徴を計測するかは、その特徴の計測により位置推定が改善される度合いを基準として選ぶ。したがって、先に述べたように、前回は

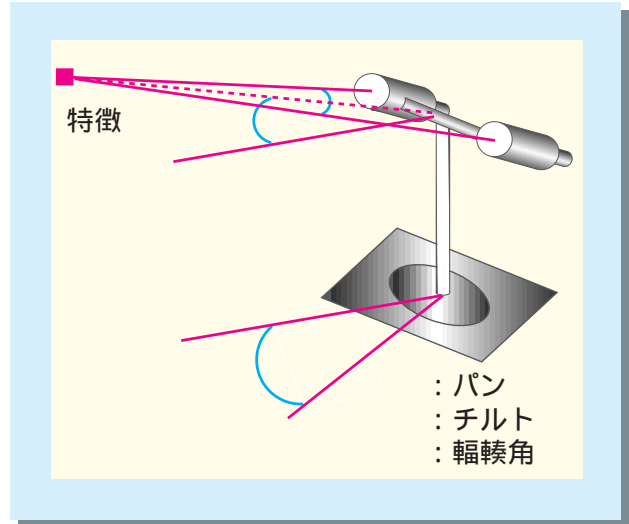


図1 注視による位置計測

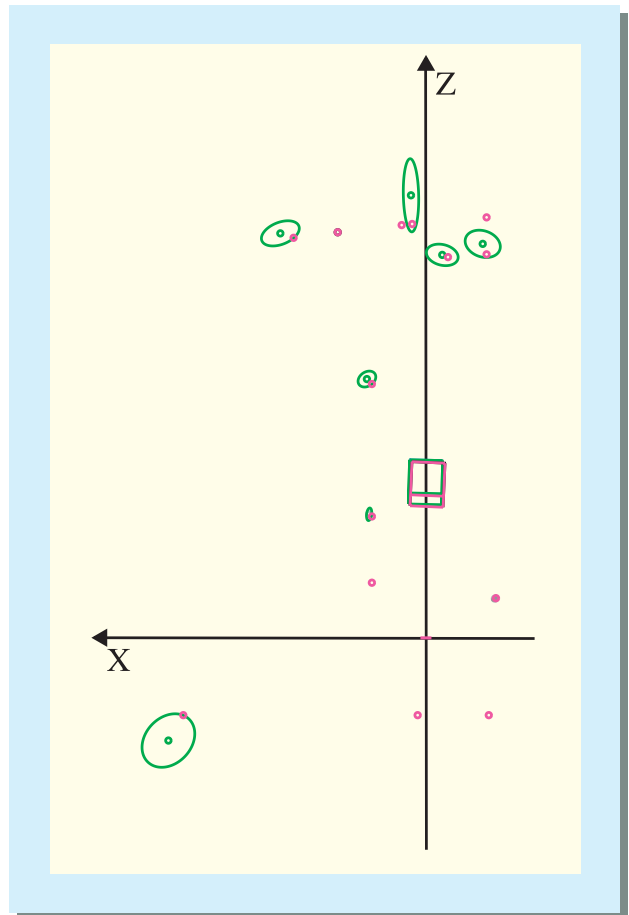


図2 自己位置推定と獲得した地図

進行方向にある特徴を計測したなら、今回は進行方向に垂直に近い方向にある特徴を選択するようになる。もし、地図上に推定の改善にとって効果的な特徴がない場合は、新しい特徴を見つけて地図に加える

こともできる。選択した特徴の実際の計測は、記憶しているその特徴の見え方に類似した領域を観測画像から探索し注視することにより行う。この時、現在の自己位置推定と地図およびその確からしさから、その特徴の像が存在する範囲が限定できるので、その画像特徴の探索は信頼性高く短時間で実行できる。このようにして少ない特徴の、少ない計測で効果的に位置推定を改善できるようになった。

この手法を用いて2台以上のロボットの位置推定も行える。視覚ロボットが環境中の特徴を注視しながら移動する間、無視覚ロボットはオドメトリのみにより移動するが、誤差の蓄積により推定の確からしさが増加してくる。そこで、視覚ロボットが無視覚ロボットを注視することにより相対位置を計測し、この計測値を用いて、1台の場合と同様に複数のロボットの位置推定を改善できる。さらに、複数のロボットが視覚センサを持てば、互いに相対位置を計測することにより、より正確な位置推定が可能となる。

この手法のもう一つの利点は、環境中の任意の特徴をランドマークとして利用できることである。つまり、点検すべき箇所をランドマークとすることにより、点検しつつ正確に自己位置を推定し移動することが可能となった。

#### 4. プラント点検の模擬実験

開発したシステムの有用性を示すためにプラント点検の模擬実験を行った。そのために、まず原子炉の一部のモックアップを作成した。これは原子力研究所の実験用原子炉JRR3の1次区画室内の一部の2/3縮尺のモデルである。製作にあたっては設計図面及び3次元幾何モデルを原子力研究所より提供頂いた。それらの基礎データをもとに、視覚システムの実験評価用にたえるものとするために、形状のみならず、色や光沢なども可能なかぎり実物に近い形で製作した。このモックアップ内において開発した2台の移動ロボット群により次の2課題を実施した。

実験1：ロボット群による通常巡回点検を想定し、プランに従った移動、設定個所の目視点検、そのための注視制御を行う（図3）。

実験2：異常事象の適応点検を想定し、異常候補の検知、能動視覚と照明の協調制御による異常候補の詳細点検を行う（図4）。

実験1では、視覚ロボットにあらかじめ環境中の数箇所の特徴と位置を教示し、初期位置を与えた後、指定した経路(具体的にはサブゴール列)に沿って移

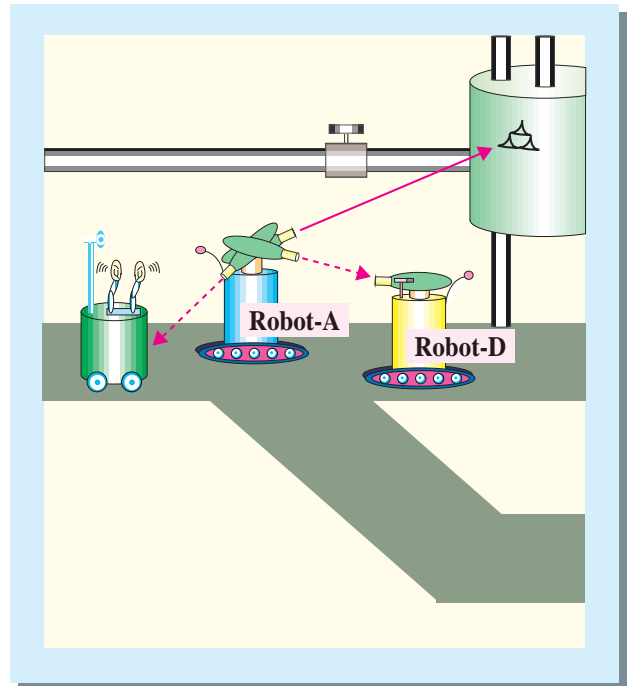


図3 実験1

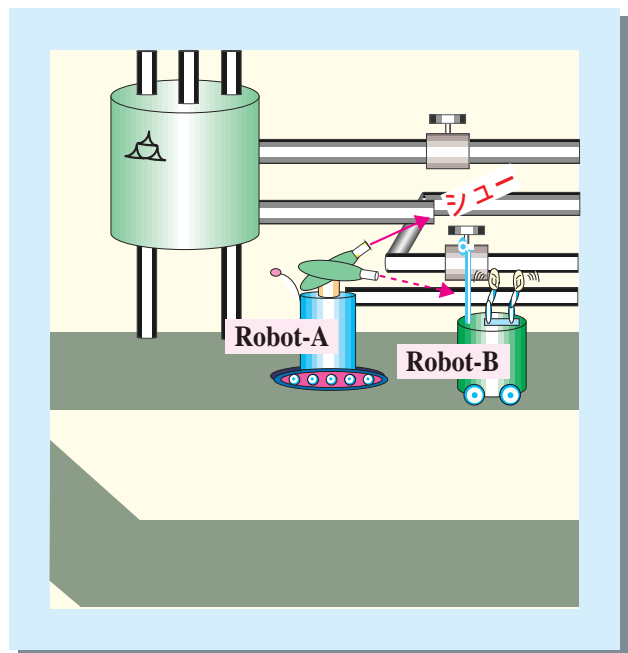


図4 実験2

動させた。ロボットは与えられた特徴の中から位置推定に有用な特徴を選択して、注視点を制御しつつ移動することにより正確な位置推定を行った。その位置推定のフィードバックにより指定経路にほぼ完全に沿って進むことができた結果、初期位置から約3m移動した後でも、数センチしか余裕がない狭い場所を通過することができた（写真4）。この実験では



写真4 狭い場所を通過する様子

適当に選んだ特徴を使用したが、定期点検において目視点検すべき箇所が与えられる場合は、それらの箇所を特徴として使用することにより、移動しつつ点検用の画像を取得することが可能となる。

実験2では、照明ロボットが音響センサにより、まず異常音を発見し、その方位を同定したと仮定した。これは開発済みの音響認識手法を使うことにより実現できる。次に、異常音の方位より、発信源の位置を推定し、その箇所の明瞭な画像を得るための視点位置と照明位置を計算し、それに従ってロボットの移動計画を生成する。この実験では、これは手作業で行ったが、観測対象の幾何情報から観測のプランを導出する手法は開発済みなので、これを実装すれば自動化できる。観測プランに従って、視覚ロボット、照明ロボット共に移動するが、その際、視覚ロボットが時々照明ロボットを注視することにより位置推定を行い、照明ロボットも目的位置に正確に移動することができ、正確に照明を当てることにより異常候補箇所の明瞭な点検画像が得られた（写真5）。

## 5 .おわりに

様々なセンシング機能を分散配備したロボット群の協調により、ロボットによるプラントの自律巡回

点検を実現する手法を提案し、実際に構築したプロトタイプによる実験でその有用性を示した。実験では、環境特徴や仲間のロボットの位置を計測しながら与えられた経路を正確に辿ることを可能としたが、実際のプラント内を安全に進むためには、経路上の予期しない障害物を発見し回避するなど、他の複数の視覚タスクも同時にこなす必要がある。現在は、これらの複数の視覚タスクを頑健に効率良くこなすための注視制御について研究を行っている。

ここで開発したシステムを実用化するにはまだまだ多くの課題が残っている。ひとつにはロボットの移動能力である。現在使用しているような車輪型ロボットでは、平らな床面しか移動できず、プラント内に設置されている堰を越えたり、階段を登ったりはできない。クローラー型の移動車を使えばこれらは可能となるが、はしごが登れないなどの制約が残る。結局、人間が入ることを想定して作られた環境内を

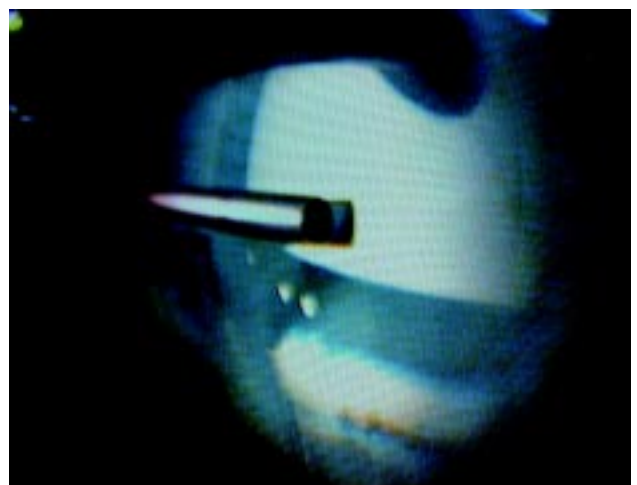


写真5 協調による異常部の明瞭な画像の獲得

自在に動き回れるためには人間型のロボットの開発を待たねばならない。我々の開発した自己位置推定手法は任意の移動機構を持つロボットが任意のセンシング情報にしたがって自己位置を推定する場合にも適用できるので、ヒューマノイドが利用できるようになれば、ロボットによるプラントの自律巡回点検が可能となるであろう。

もう一つの重要な課題は安全性である。システムの開発にあたっては安全に関する配慮も行ったが、こと原子力プラントにかぎっては、これで十分ということは決してあり得ない。実用に供するには、ソフトウェアに関しては幾重にも防護措置を施す必要があるし、ハードウェアについては特に放射線下での動作の安定性についての配慮が必要となろう。その上で、完璧な安全性をロボット自身で担保することを目指すのではなく、人間であるオペレータや、プラント運用に係わる保全システムや運転制御システムなどとの協調により安全性を高めることが重要と考えている。

#### 研究課題名

協調能動センシングシステムの研究  
ロボット群と保全知識ベースの協調によるプラント点検・提示システムの研究開発

#### 参考文献

A. J. Davison and N. Kita : "Active visual localisation for cooperating inspection robots", Proc. of the 2000 IEEE Int'l. Conf. on Intelligent Robots and Systems (to appear).

---

#### ラボメンバー (Lab. Members)

**喜多 伸之 (Nobuyuki Kita)**

e-mail:nkita@etl.go.jp

**アンドリュー・デビソン (A. J. Davison)**

**國吉 康夫 (Yasuo Kuniyoshi)**

**原 功 (Isao Hara)**

知能システム部 (Intelligent Systems Division)

オックスフォード大学 (Univ. of Oxford)

知能システム部 (Intelligent Systems Division)

知能システム部 (Intelligent Systems Division)

# 大容量型高純度オゾン発生装置の開発

- 半導体製造プロセスなどの産業応用へメド -

## Development of a High-Purity Ozone Generator with a Large Accumulation Capacity

- A prospect of industrial applications for semiconductor device manufacturing processes -

極限技術部 自己組織化材料解析ラボ

Frontier Technology Division, Self Organizing Materials Analysis Lab.

A high purity ozone generator which can safely handle  $5\text{cm}^3$  liquid ozone has been newly developed. Ozone which is a highly reactive oxidizing gas and leaves only harmless oxygen as a by-product is a promising process gas for industrial applications. The controllability and metal-free cleanness of the generator proved by the total reflection X-ray fluorescence method satisfies the strict conditions required by semiconductor device manufacturing processes. The development of the generator opens the door for the high-purity ozone gas of a large amount to applications for process in advanced industries including semiconductor device manufacturing.

### 1. 研究成果の要旨

オゾンは非常に反応性の高い酸化剤であるのに加えて、最終副生成物が環境に無害な酸素であるため、水の浄化や医療用品の殺菌などさまざまな分野で既に用いられている。またオゾンガスを液化・高純度化して反応性を高めることにより、半導体デバイス製造プロセスなどの先端産業での新たな応用が期待されている。しかし、液体オゾンは爆発性を有するため、産業応用レベルの量となるとその取り扱いには特別な配慮が必要であった。

今回自己組織化材料解析ラボは株式会社明電舎の協力を得て、標準状態で3.7リットルの高純度オゾンガスが供給可能な大容量型高純度オゾン発生装置の開発に成功した。本装置は $5\text{cm}^3$ の液体オゾンを使用するが、 $5\text{cm}^3$ という大容量化にもかかわらず十分な安全性が確保されていることを、長時間の連続運転や過酷な条件下での実証試験などを通して確認した。また、極微量の不純物の混入が問題となる半導体デバイス製造プロセスへの応用に関しても、シリコンウエハの酸化実験を通して金属汚染の量は検出限界以下であることを確認した。

本成果は、優れた性質を持つ高純度オゾンを半導体製造プロセスなどの先端産業において大量に利用するための技術開発に大きく貢献するものである。

### 2. 研究の背景

オゾン(分子式:  $\text{O}_3$ )はフッ素に次ぐ強力な酸化剤

であり、少量であっても金属や半導体の酸化膜形成や有機物の分解などのさまざまな酸化プロセスに利用できることに加えて、最終副生成物が酸素であるため環境への負荷が小さいという特長を有するため、広い分野にわたる応用が期待されている。しかし、最も一般的な酸素ガス中の沿面放電によるオゾン発生法では、高々10%の濃度のオゾンを利用することしかできず、その制御性も半導体デバイス製造プロセスなどのような極めて高い精度を必要とする先端産業への応用に際して十分高いものではなかった。また、高純度オゾン(特に液体オゾン)は温度や圧力の急上昇、紫外線への暴露、不純物の混入などにより容易に爆発する危険性があるため、その取り扱いには特別な注意が必要であり、万一爆発した場合も被害が生じないような配慮が必要であった。

以上の理由により、高純度オゾンの産業応用にあたって、通常研究室で用いる量よりも桁違いの量の液体オゾンを効率良く生成し、かつ高い制御性で安全に取り扱うことが可能な装置の開発が必要であった。例えば、現在半導体製造プロセスにおいて、シリコンウエハの急速熱酸化(RTO)により10nm以下の極めて薄いゲート酸化膜を形成するときに必要な酸素の量は1気圧において約6リットルと言われているが、これと等量の高純度オゾンを発生するためには、約 $5\text{cm}^3$ の液体オゾンが必要となる。実際には、オゾンは酸素よりも遥かに反応性が高く、低温・減圧条件においても高温・大気圧の酸素と同様の酸化力を持

つため、これだけの液体オゾンを用意することができれば、実際には低温下での減圧酸化プロセスを何度も繰り返し行うことが可能となり、高純度オゾンの半導体製造プロセスへの利用が極めて現実的になると考えられる。また半導体製造プロセスにおける利用に限らなくても、約5cm<sup>3</sup>の液体オゾンから高純度オゾン制御性よく取り出すことができれば、従来オゾンを利用していなかった各種先端産業における新たな応用が今後可能になると考えられる。

以上の観点から、今回自己組織化材料解析ラボは株式会社明電舎と協力して、安全に取り扱うことができる量としては従来にない、約5cm<sup>3</sup>の液体オゾン蓄積することが可能で、高い制御性と安全性を兼ね備えた大容量型高純度オゾン発生装置の開発を行った。

### 3 .大容量型高純度オゾン発生装置の開発

写真1に大容量型高純度オゾン発生装置の概観を示す。装置の原理は通常のおゾン発生器（オゾンナイザ）に酸素を導入することにより生成した10%未満のオゾンを含む酸素を、酸素とオゾンの蒸気圧の大きな差を利用して、低温低圧で蒸留してほぼ純粋な液体オゾンを得るというものである（図1）。

大容量型高純度オゾン発生装置を開発するにあたっては、安全に取り扱うことができる量としては従来にない量である5cm<sup>3</sup>という液体オゾンの蓄積の実現のため、数々の開発要素を装置に盛り込んだ。

例えば、液体オゾン室の熱設計を最適化して冷却効率を高めたことにより、液体オゾン蓄積速度を高めることができるようになった。即ち、原料酸素の流



写真1 大容量型高純度オゾン発生装置  
(左より) 制御盤、オゾンナイザ、液化部

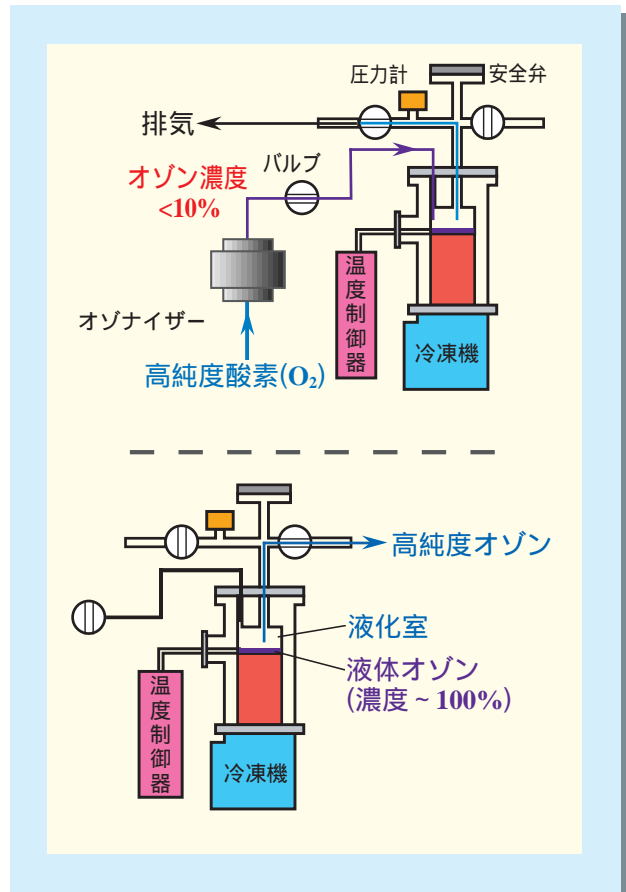


図1 大容量型高純度オゾン発生装置の動作原理  
上図：液体オゾンの精製・蓄積  
下図：高純度オゾンガスの利用

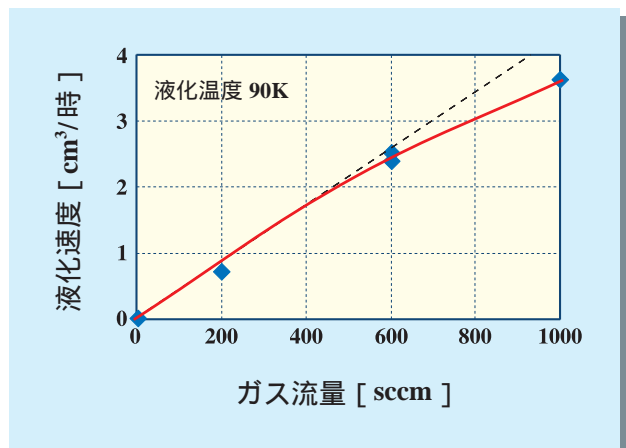


図2 液体オゾン蓄積速度のガス流量依存性

量を1000sccmという大きな量にしても、液体オゾン室の温度を90Kという十分な低温に保つことができるため、約80分間で5cm<sup>3</sup>の液体オゾン蓄積することができる（図2）。このようにして蓄積したオゾン

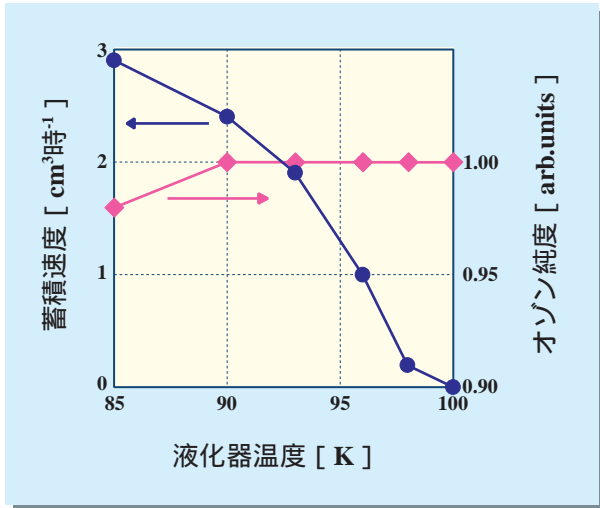


図3 蓄積速度と純度の液化温度依存性

は、液化温度が90K以上であれば、ほぼ100%の純度であることを蒸気圧の測定から確認している(図3)。また本装置では、このようにして蓄積した液体オゾンを経験的に制御により徐々に気化して高純度オゾンガスを制御性よく取り出すことができるが、例えば30sccmという流量の高純度オゾンガスを約120分間連続に供給することが可能である(表1:性能値)。したがって、オゾン酸化処理装置に本装置を2台並列に装着して交互に液体オゾンの蓄積と高純度オゾンガスの供給を繰り返すことにより、連続運転も可能となる。さらに、本装置では、高純度オゾンガスの供給中でも、オゾン液化室は90K~100K(摂氏-183度~-173度)という低温に保たれているため、半導体デバイス製

造プロセスで特に問題となるような金属元素などが混入する可能性が極めて小さいと考えられる。実際に、4インチの室温のシリコンウエハに120分間オゾンを吹き付けて1nm以下の厚さの酸化膜を生成したものを、全反射蛍光X線法により分析した結果、鉄や銅などの重金属の含有量は、ウエハのどの位置においても検出限界(10<sup>9</sup>~10<sup>10</sup>原子/cm<sup>2</sup>)以下であることを確認している。半導体デバイス製造プロセスにおいては、重金属元素含有量が同法による検出限界以下であれば問題ないと考えられる。

十分な安全性の確保も本装置の大きな開発要素であった。具体的には、液体オゾン室の形状、オゾンガスライン上での電磁弁の配置や動作特性を検討して、装置の自動化と安全性を両立させた。さらに、液化室の温度を150K(摂氏-123度)に急激にあげた上にレーザー光を照射するという特別に過酷な条件における強制爆発実験により、通常の使用における安全性と万一爆発が生じたときでも破裂板が的確に動作する以外には被害が及ばないことを確認している。

以上のように、今回開発に成功した大容量型高純度オゾン発生装置は、実用性と安全性を兼ね備えた高性能の高純度オゾン発生装置であることが実証された。最後に本装置の開発により新たに開けた高純度オゾンの産業応用の可能性について述べる。

#### 4. オゾンの産業応用

高純度オゾンは極めて強い酸化力をもつ反応性ガスであることから、さまざまな分野の産業への応用が期待されている。本装置を用いることにより5cm<sup>3</sup>の液体

項目	特性値	単位
最大液体オゾン蓄積量	5	cm <sup>3</sup>
最大供給ガス(酸素)流量	1000	sccm
最大オゾン蓄積速度(酸素、1000sccm、90Kの場合)	3.6	cm <sup>3</sup> 時 <sup>-1</sup>
液体オゾン純度	~100	%
高純度オゾン供給時間(30sccmの場合)	120	分
液化部温度制御範囲	50~150	K
液化部温度安定性	±0.1	K
自然昇温時間(90K~150K)	50	分

表1 大容量型高純度オゾン発生装置の性能値

オゾンから制御性よく安全に高純度オゾンを発生できるようにになったことは、極めて大きな意味を持つと考えられる。

もっとも重要な応用の一つが、半導体製造プロセスにおけるシリコン酸化薄膜の形成温度の低温化である。これまで当グループでは、高純度オゾンを用いることにより、従来の酸素ガスを用いた熱酸化法に比較してはるかに低温でのシリコンの酸化が可能であること、オゾン酸化膜は熱酸化膜と同様の緻密性をもつこと、そして、熱酸化膜においてシリコン基板と酸化膜の界面付近にみられる構造遷移層が、オゾン酸化膜においては極めて薄い可能性があり、半導体デバイスのゲート酸化膜として用いたときに限界膜厚をさらに薄くすることができる可能性があることなどを明かにしてきた。このように半導体製造プロセスにおいて数々の優位性をもつ高純度オゾンの産業応用には、研究室レベルを越えた量の高純度オゾンを安全に制御性よく発生し取り扱うことができるようになることが不可欠だったが、今回の大容量型高純度オゾン発生装置の開発により、高純度オゾンの産業応用は現実的なものになったと言えよう。

高純度オゾンは次世代のエレクトロニクス材料であるSiC半導体、高誘電体材料などの作製においても極めて有用であると考えられる。大容量型高純度オゾン発生装置は、従来法では解決できないプロセス上の問題に対しても有力な解決策をもたらすものであると期待される。

当グループではさらに、高濃度オゾンはシリコンウエハなどに付着した微量有機物汚染物質の分解除去に対しても極めて有効であることを明かにしてきた。今後、半導体製造プロセスにおいても省資源・低環境負荷の観点から、現在のような大量の純水とふっ酸などを用いたウエハの洗浄法が根本から見直

される可能性がある。高純度オゾンによる有機物汚染物質の分解除去は低圧力で作用し最終副生成物が酸素であるため、今後半導体デバイス製造プロセスにおける各種洗浄に用いられることが期待される。今回開発に成功した大容量型高純度オゾン発生装置は、大型ウエハの洗浄に十分な流量のオゾンを長時間供給することが可能である。

この他にも大容量型高純度オゾン発生装置は、各種金属表面の不動態化処理、医療への応用、ダイオキシンなどの安定有害物質の分解無害化などに産業規模で用いることができると期待される（図4）。

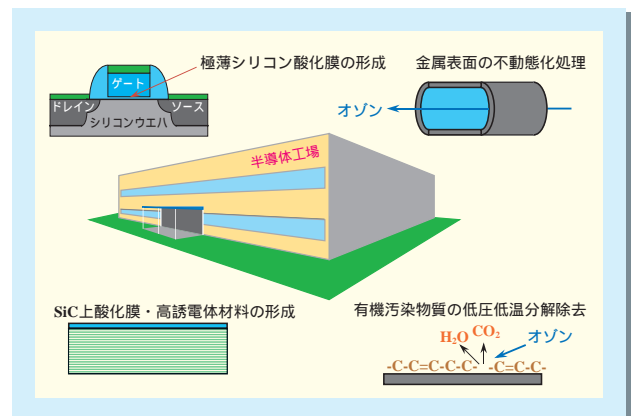


図4 大容量型高純度オゾン発生装置により期待される産業応用

本研究は、科学技術振興調整費「物質と材料の自己組織化機構の解析と制御に関する研究」及び工技院競争特別研究「極限酸化技術を用いた極微構造限界デバイスの研究」の一部として行われた。

#### ラボメンバー (Lab. Members)

野中 秀彦 (Hidehiko Nonaka)	材料科学部 (Materials Science Division)
e-mail: nonaka@etl.go.jp	
一村 信吾 (Shingo Ichimura)	極限技術部 (Frontier Technology Division)
黒河 明 (Akira Kurokawa)	極限技術部 (Frontier Technology Division)
村上 寛 (Hiroshi Murakami)	極限技術部 (Frontier Technology Division)
川田 正國 (Masakuni Kawada)	極限技術部 (Frontier Technology Division)
中村 健 (Ken Nakamura)	極限技術部 (Frontier Technology Division)
井藤 浩志 (Hiroshi Itoh)	極限技術部 (Frontier Technology Division)
大串 秀世 (Hideyo Okushi)	材料科学部 (Materials Science Division)

# 2000統一公開

2000.7.28

7月28日、工業技術院統一公開が行われ、当所には昨年を100名以上うわまわる1,788名の見学者が来場しました。

今回当所では、「探ってみよう 科学の心」をテーマに、

未来に通じる磁気之力

- 超電導浮上 -

小型電子蓄積リングNIJI-IVを用いた紫外-真空紫外自由電子レーザーの研究開発

熱電発電

- 熱を電気に変える素子 -

脳活動イメージング

- サルの脳活動の実時間計測 -

3次元視覚システム VVV

- コンピュータの眼 -

音の世界の不思議な体験

- 無響室と残響室 -

の公開を行いました。

統一公開も今回で5回目となり、学校の夏休み中に行われるイベントとして定着してきたためか、来場者のほぼ半数は児童・生徒でした。

各コーナーでは工夫を凝らした展示や実演が行われ、終了時間の午後5時までどのコーナーにも多くの見学者が途絶えることなく参集し、嬉しい悲鳴を上げながらの1日でした。



受付風景



熱電発電



超伝導浮上の実験



3次元視覚システム-コンピュータの眼

# サイエンスキャンプ

2000.7.26-28

電総研でのサイエンスキャンプが7月26日～28日に行われました。年々増加する応募に応え、今年は4コース18名の募集を行い、科学技術に関心のある高校生18名が集いました。キャンプでは、研究者から直接指導を受け、実験をしたり、試作をしたり、有意義な時間を共有し、交流を深めました。

最終日には各グループ毎に発表が行われ、その後全体討論があり、最後に所長から一人一人に修了証が手渡されました。

## Aコース

「模型スターリングエンジンを作ってみよう」

受講者：6名

指導：川田 正國、村上 寛（極限技術部）、樹神 謙三、小林 知巳、清水 賢二（研究設備管理課）

スターリングエンジンは外燃機関の一つで、高温と低温の二つの温度（温度差）を与えると動きます。そのために、いろいろな熱源を用いて動かすことができるので、将来の環境に優しいエンジンとして注目されています。またエンジンと逆のサイクルで動かすと、冷蔵庫よりもっと低い温度を得ることもできる冷凍機としても利用できます。ここでは、熱が機械的な仕事（動力）に変わる仕組みについて、自分の手で模型エンジン作りを体験し、理解を深めると共に、冷凍機の見学も行いました。



## Bコース

「高温超伝導体を自分で作ってみよう」

受講者：3名

指導：白川 直樹、池田 伸一（電子基礎部）

よく耳にする「超伝導」。でもどんな現象かよくは知らない。そんな超伝導について理解し、自分で超伝導体を作る体験をしました。

- ・超伝導ってどういう現象だろう？高温超伝導体って何？
- ・超伝導体でないもの（銅）から超伝導体をつくる現代の錬金術師になってみよう。
- ・電気抵抗の測定法を学ぼう。
- ・高温超伝導体と磁石で遊んでみよう。磁束のピン留めを体感しよう。
- ・自分で作った試料はちゃんと超伝導を示すだろうか、確かめてみよう。
- ・講義「超伝導と磁性の物理入門」。
- ・実験設備の見学（結晶育成、X線回折、光電子分光、トンネル分光、比熱、磁化、電氣的輸送特性測定等の各装置）。



## Cコース

「太陽電池を作ってみよう」

受講者：3名

指導：坂本 邦博、松畑 洋文、安藤 淳（電子デバイス部）

地球環境にやさしいエネルギー源としてよく名前を聞く太陽電池は、電卓や時計などにも使われてとても身近なものです。でも見た目はただの黒い板。この板の不思議を自分で太陽電池を作り、発電させてその仕組みを理解しました。

- ・どうして、太陽電池で発電できるの？

- ・ 太陽電池を作りながら LSI 工場の雰囲気を感じてみよう。
- ・ 自分で作った太陽電池は、ちゃんと発電するかな？



が、メモリと組み合わせることにより、データやプログラムを変えてソフトウェアでいろいろなことをさせている訳です。

昔は、デジタル回路のハードウェアを作るといって、回路の部品となる IC を複数半田付けしたものでしたが、今は自分で作った回路を書き込むことのできる FPGA というチップがあります。ここでは FPGA を自分でプログラムして回路を作って動かす体験をしました。

- ・ デジタル回路と FPGA 入門（講義）
- ・ ハードウェアのプログラミング（講義 + 実習）
- ・ FPGA に回路を書いてランプを光らせたり、ブザーを鳴らしたりしてみよう。



#### Dコース

「プログラムでハードウェアを作ってみよう」

受講者：6名

指導：戸田 賢二、関山 守(情報アーキテクチャ部)

携帯電話、ゲーム機、コンピュータ、車など、デジタル回路は今や私たちの身の回りの器機には大抵入っています。そこで使われている IC や LSI には特定の目的のデジタル回路が焼き付けられていて、ハードウェアとしては決まった動作をするだけです



## 21世紀夢の技術展

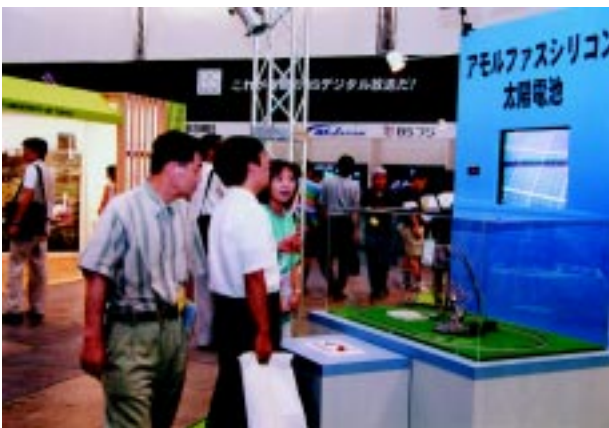
2000年7月26日～8月6日

7月21日～8月6日までの17日間、東京国際展示場（東京ビッグサイト）において「21世紀夢の技術展」（主催：日本経済新聞社）が開催されました。

本技術展には電総研などの国立研究機関をはじめ、企業、大学など100を超える機関が出展しました。各ブースでは、最新の研究・開発の成果について、見学者が体験できるよう工夫がなされ、興味ある展示となっていました。入場者数は1,124,000人を記録

し、新聞はこの夏最大級のイベントと報道しています。

会場は、環境保全、情報・通信、生命科学、宇宙・海洋開発、生活基盤の5分野に大別され、当所からは「アモルファス太陽電池」（環境保全分野）、「超高速ネットワーク」、「脳型コンピュータ・システム」、「ネットワークセキュリティ」（情報・通信分野）、「筋電義手ロボット」（生活基盤分野）を出展しました。



李 瑞寧 韓国国会議員が来訪

2000年7月28日

7月28日、李 瑞寧 韓国国会議員一行15名が当所を訪問されました。

はじめに、所長から当所の概要についての説明がなされ、引き続き最新の研究成果の中から、「有機EL素子材料における素励起」(ナノ物性理論ラボ:下位幸弘主任研究官)、「多言語環境文書処理システム」(Muleラボ:高橋直人研究員)、「極限MOSデバイス」(ナノシリコンデバイスラボ:鈴木英一主任研究官)の研究について各担当者が説明を行いました。

その後、概要説明の中で特に関心を持たれた「小型電子蓄積リングNIJI-IV」を見学されました。



人事異動

氏名	(新)	(旧)
平成12年7月15日付		
櫻庭 俊昭	企画室に併任 産学官連携推進センターに併任 筑波研究支援総合事務所研究企画調整官付に併任	基礎計測部主任研究官兼極低温エネルギーセンター運営室企画係兼極低温エネルギーサブセンター運営係
関口 智嗣	工業技術院研究業務課に併任 筑波研究支援総合事務所研究企画調整官に併任	情報アーキテクチャ部主任研究官兼企画室兼工業技術院総務部計画課研究管理企画室企画班長兼筑波研究支援総合事務所先端情報計算センター長付調整班長
長坂 武彦	工業技術院研究計画課に併任	量子放射部主任研究官兼企画室兼共同利用計算機室長
平成12年7月31日付		
関根 重幸	辞職	エネルギー部主任研究官
平成12年8月1日付		
岩崎 晃	企画室開発班長の併任解除 企画室開発班開発係長の併任解除	極限技術部主任研究官兼企画室開発班長兼企画室開発班開発係長
座間 達也	企画室開発班長に併任 企画室開発班開発係長に併任	量子放射部主任研究官兼企画室企画班
大崎 人士	大阪ライフエレクトロニクス研究センターに併任	情報アーキテクチャ部

編集 〒305-8568 茨城県つくば市梅園1-1-4 工業技術院 電子技術総合研究所 0298(61)5059

表紙写真: 原子力プラントを巡回するロボットとカメラが捉えた異常部の明瞭な画像

URL <http://www.etl.go.jp/> e-mail: info@etl.go.jp  
印刷・製本 ニッセイエプロ株式会社