

本田財団レポートNo.84

「ライフサイエンスとHONDA-FUJISHIMA効果」

東京大学工学部教授 藤 嶋 昭

講師略歴

藤嶋 昭(ふじしま あきら)

1966年	横浜国立大学工学部電気化学科卒業
1971年	東京大学大学院工学系研究科博士課程修了
現在	東京大学工学部応用化学科教授

専門：光電気化学、光機能材料

著書：「電気化学測定法(上・下)」他多数

このレポートは、平成6年3月28日パレスホテルにおいて行われた第67回本田財団懇談会の講演の要旨をまとめたものです。

目 次

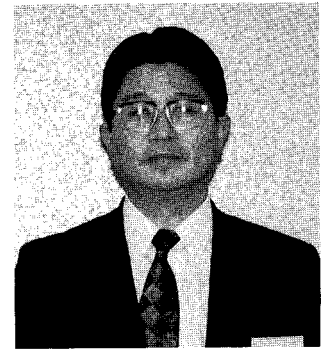
1. はじめに.....	5
2. 植物はなぜ成長するか.....	5
—— 光合成反応に学ぶ	
3. 水が光分解された.....	7
—— HONDA-FUJISHIMA効果	
4. 炭酸ガスも還元できる.....	9
—— ダイヤモンド薄膜の利用	
5. TiO ₂ 光触媒反応のすばらしさ	13
—— MRSAもこわくない	
6. 光治療の可能性.....	22
—— がんも治る	
7. 新しいメタライゼーション.....	24
—— 人工骨も使いやすくなる	
8. おわりに.....	25
質 疑 応 答.....	27

1. はじめに

今日は、多くの大先生方のまえで、お話をする機会を与えて頂きましてたいへん光栄に存じております。

今ご紹介頂きました「ライフサイエンスとHONDA-FUJISHIMA効果」ということでお話をさせていただきます。

本田技研の佐藤 登さんから「ライフサイエンス」という名前を付けるとたくさんの方に聴いていただけると伺いましたので(笑)、それに合わせた内容で考えさせて頂きました。



私たちは植物がなぜ成長するかということを見習って研究の基にしています。全く人工的に、光エネルギーを使って水を分解することができるシステムを見出し、これを私の師である、本多健一先生と私の名前を取ってHONDA-FUJISHIMA効果と呼んでいただくことがあります。

これは、太陽エネルギーから水を原料にしてクリーンエネルギーの水素ができるということで注目して頂いたことがございました。

また最近、地球環境問題で炭酸ガスをいかに減らすかということも重要であります。私たちは、ダイヤモンド電極を自分たちで作りまして、炭酸ガスの還元の研究を行っております。

水が分解できたのは酸化チタンという半導体を使ったことによりますが、これの薄膜を使いまして、水や空気がきれいになる光触媒反応という現象が今、注目されております。たとえば、ライフサイエンスに関連して、院内感染のMRSA菌も殺すことができるということについてお話をしたいと思っております。と同時に、酸化チタンに光が当たると非常に強い酸化力ができますので、がん細胞も簡単に殺すことができるのではないかとということで、がん治療にも応用できます。これは臨床実験にも入っています。

もう一つ、ライフサイエンスに関係することでは、人工骨でアパタイトというセラミックスがありますが、それと金属とをつなぐことは難しく、特に人体に悪影響のない純金を付けるのは非常に難しいのですが、私たちの研究の結果でアパタイトに金を付けることができるということが分かりました。

これらはバラエティに富んでいるように見えますが、私にとりましては、統一されているテーマと思っておりますので、あとで考えて頂ければと存じます。

2. 植物はなぜ成長するか

植物はなぜ成長するか、これは光合成反応として知られております。たとえば、竹が太陽光の下で真直に育っています。つまり、植物は太陽エネルギーが必要であり、水が必要であります。葉の表面で太陽エネルギーを受けて植物は成長します。この光合成反応が、私たちのモデル反応です。図1に光合成反応をまとめてありますが、太陽エネルギーが葉の表面に当たると、水が分解され酸素が出てき

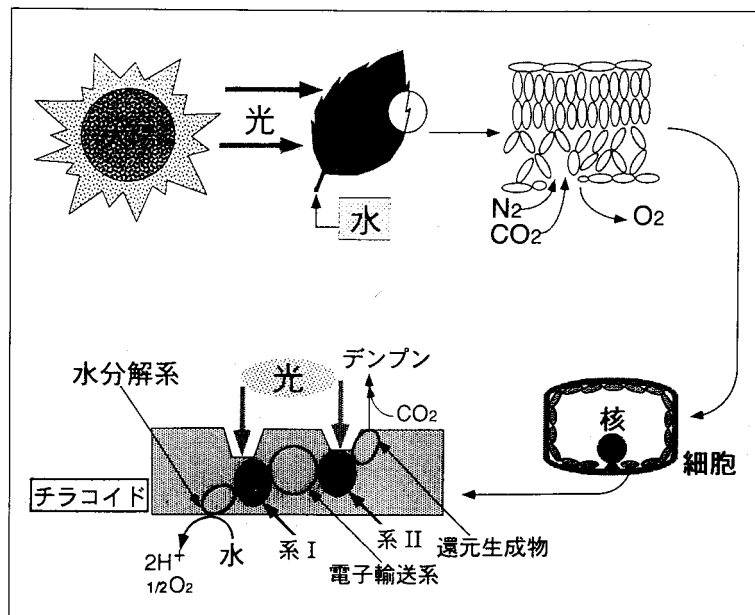


図 1

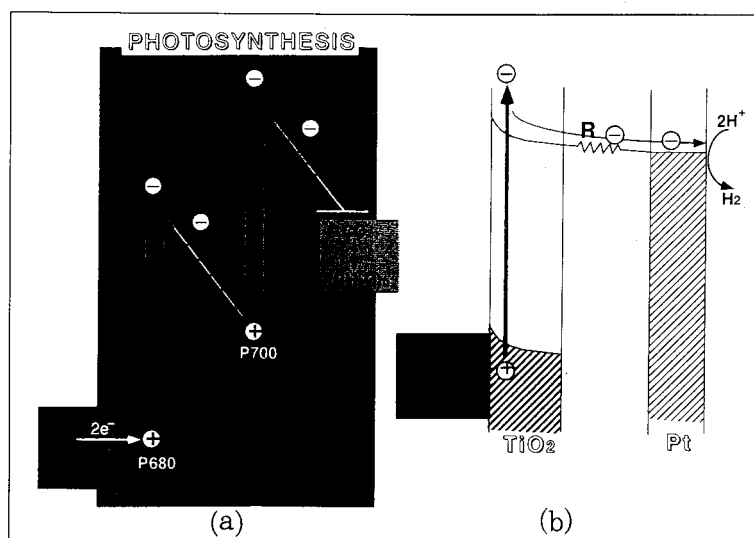


図 2

ます。もう一つの重要な反応は空気中の炭酸ガスが還元されて、澱粉ができることです。

基本は水と太陽エネルギーと、それを受ける葉緑素が必要であるということです。

これをモデル図で描きますと図 2(a)のように描くことができます。植物はうまくできていまして、ピグメント680とピグメント700という2種類の葉緑素があります。そこに光が当たりますと電子が励起され、たたき出されて活性になります。最終的にこの電子を使って炭酸ガスが還元されるわけです。そして植物が成長します。一方、失くなってしまった電子をどこからかもらわなければなりません。周囲には水がありますので水から電子をもらいます。つまり、水が酸化され

て酸素が出ることになります。これが光合成反応のZスキームによる説明として教科書に出ている機構図です。

ではこの光合成を人工的に真似ることができないかということになります。

3. 水が光分解された

—— HONDA—FUJISHIMA効果

私は東大の大学院の時、1967、8年頃でありましたが、丁度ゼロックスコピーの研究が始まっておりまして、その材料の一つとして酸化チタンというものが注目されておりました。

私はそれを水の中に入れて、図3に示しますように白金電極と組合せて光を当

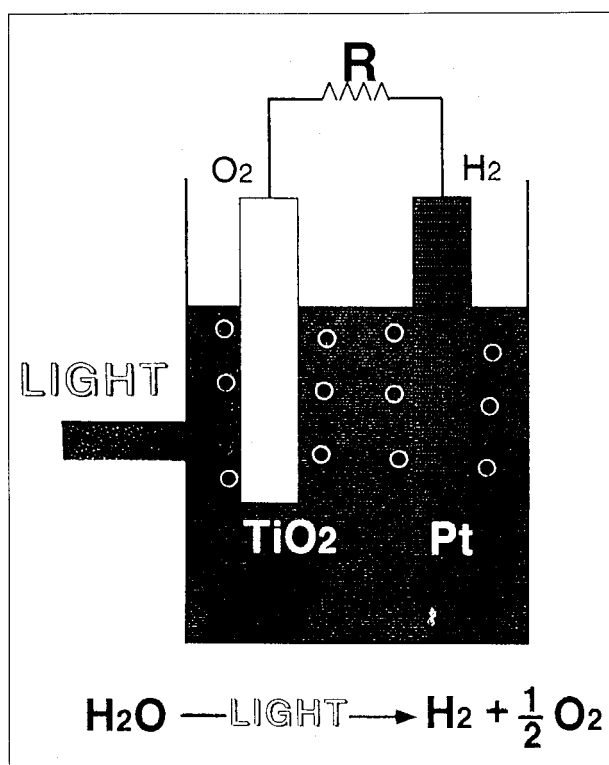


図3

ててみたわけです。そうしましたら酸化チタンの表面と、白金の表面からガスが出てきました。分析したところ酸素であり、水素でありました。つまり、水が光によって分解されて、水素と酸素になったという現象を見つけることができたのであります。

水は一般に太陽エネルギーを受けるだけでは分解することはありません。もし分解してしまいますと大変なことになるわけですが、半導体の一種である酸化チタンの単結晶を使って水と接しているところへ光を当てましたところ、酸素と水素が出てきたのであります。この反応で私自身が一番感動したことは、植物がやっている光合成反応を、もっとも単純な形で真似ることができたのではないかと



図 4

うことでありました。

葉緑素の代りに酸化チタンを使い、炭酸ガスを還元するのではなく、水が分解されて水素ができましたけれども、もっともシンプルな形で光合成反応を再現できたわけです。

機構を説明しますと図 2(b)のようになります。酸化チタンを水に付けますと表面がエネルギー的にまがります。そこに光が当たりますと電子がたたき出されて抵抗の所で電気的な仕事をしながら、白金に電子がたまります。これは、水の中のプロトンと反応して水素となります。酸化チタンでは電子がなくなっていましたので、葉緑素と同じように水から電子をもらって酸素が出ることになります。このように光合成反応とよく似た機構で説明ができました。人工光合成系を作ることができたということになり、これを「ネイチャー」に投稿しましたところ採用されました。

丁度その後、第一次オイルショックが起こりまして、エネルギーをどこから得るかということが話題になりました。

私たちの方法は太陽エネルギーを使い、水を原料にします。そしてクリーンエネルギーである水素が得られるということで注目して頂くことになりました。

今、朝日新聞の編集委員をなさっている大熊由紀子さんがその時取材に来られて、元旦のトップ記事に採用されました。(図 4) 私は当時、神奈川大学の助教授をしておりました。

その後この分野の研究は世界的におこなわれることになり、今でも活発に続いております。

私たちの方法を使って、水素を安く大量に効率よく得られないか、これが世界

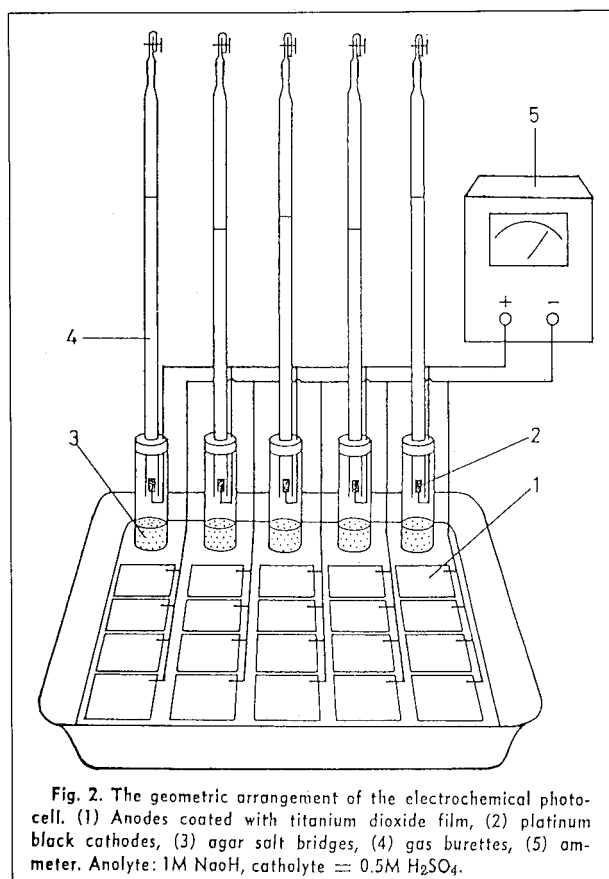


図5

中でずっと続けられている研究テーマの1つであります。図5は、私たちがその直後に行いましたチタン金属の表面をあぶって酸化被膜を作り、それを写真の現像用の大きなバットの中に敷きつめて光電池を作った時の様子を示しております。1m²の酸化チタン電極を使って、夏には1日当り大体7リットルの水素を得ることができました。しかし、エネルギー変換効率という点ではまだまだ低く、今でも効率的には乾式の太陽電池に勝るものがないという欠点があります。

この反応系はその後光触媒として応用され、空気や水をきれいにするために使われるようになってきておりますが、このことは後ほど詳しくお話します。

4. 炭酸ガスも還元できる

——ダイヤモンド薄膜の利用

次のテーマは炭酸ガスをいかに還元するかということであります。

植物はうまく水を分解して酸素を出し、空気中の炭酸ガスを還元して成長しています。一方、私たちは今、化石燃料の石油や石炭をどんどん使って、植物が炭酸ガスを還元できる以上の炭酸ガスを空気中に出しています。(図6) そのため地球温暖化という問題が起っています。

これに対して、太陽エネルギーを使って炭酸ガスを効率的に燃料にすることが

できないかということも私たちは研究しております。化石燃料は最も必要なエネルギー源でありまして、自動車その他様々なものに使われています。もちろん反応がおきますと炭酸ガスが出てくるわけです。この炭酸ガスをアルコールやエチレンのような燃料にもどすことができれば理想的です。私たちは太陽エネルギーを使って炭酸ガスをアルコールのような燃料に変換することも重要なテーマではないかと考えております。

今、私たちが通産省に提案している方法は、一つは太陽電池を使って電気分解で炭酸ガスを還元してアルコールを作るということでありまして。図7(1)に示し

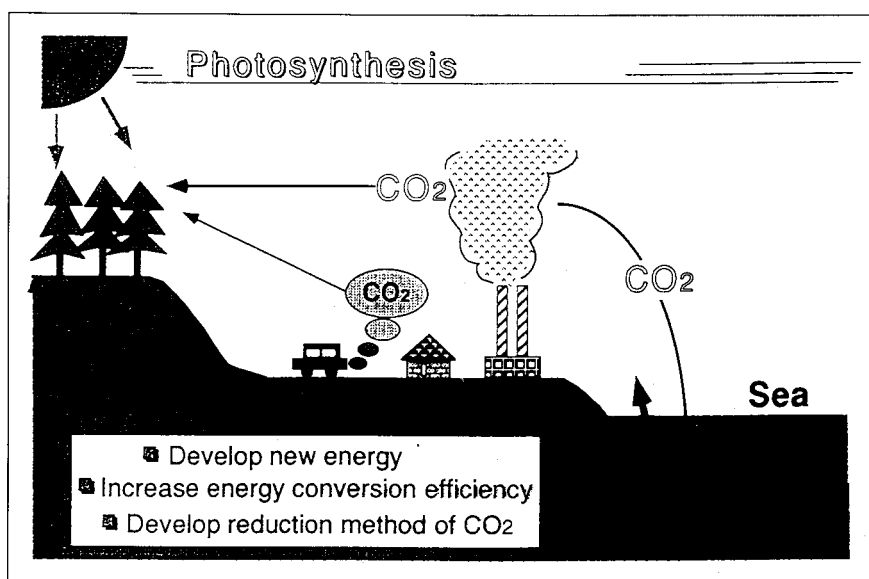


図 6

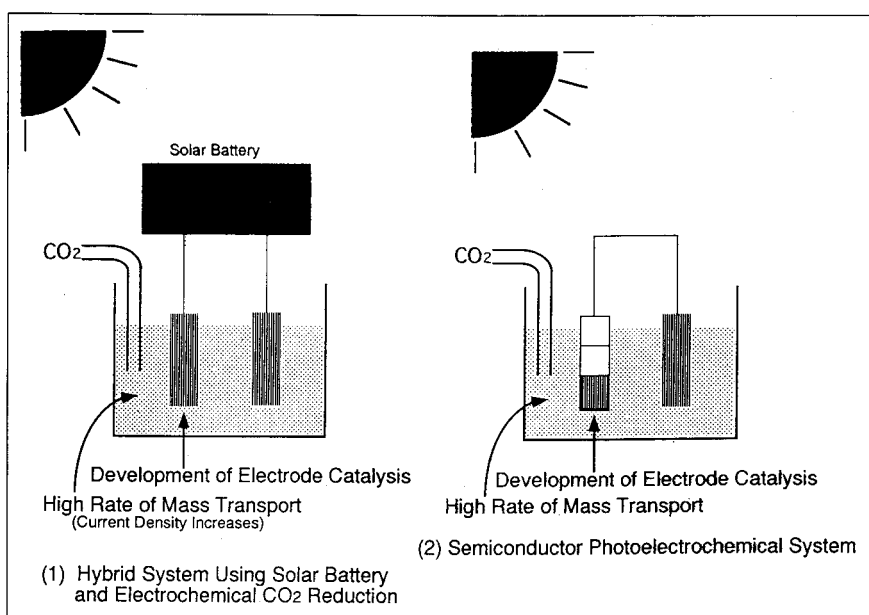


図 7

ますように、これは太陽電池と電気分解という二つのテクノロジーをハイブリット系で使うというものであります。

これも研究が進んでおりますが、次にもっと直接的に太陽エネルギーを使って、炭酸ガスをアルコールとか、エチレンのような燃料に還元できないかと考えています。図7(2)に示すように、炭酸ガスの還元反応ですからP型半導体がいいということになります。

P型半導体で一番いいものはなにか。今、私たちが研究しておりますのがダイヤモンドであります。ダイヤモンドは堅い、屈折率が高いなどの特徴がありますが、P型半導体にすることもできます。P型として、ボロンをドーピングしますと、絶縁体だったダイヤモンドに導電性ができ、光に応答するようになり、いろいろなものを還元できることになります。

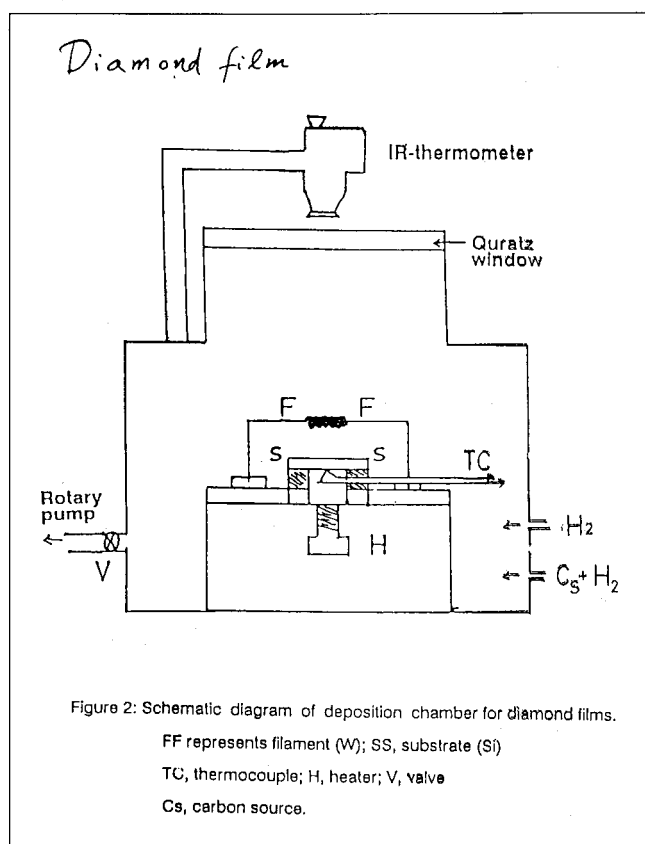


図8

多くの人が研究しておりますけれども、私たちもダイヤモンドを自分たちで作っております。ヒラメイトアシステットCVD法というものであります。(図8)

タングステンのヒーターの下にシリコンの基板を置き、水素ガスと共にダイヤモンドの原料であるアセチレンのようなガスを流します。しばらくしますと、このシリコンの基板の上にダイヤモンドができてまいります。しかも、ここにボロンをドーピングしますとP型のダイヤモンドの薄膜ができます。

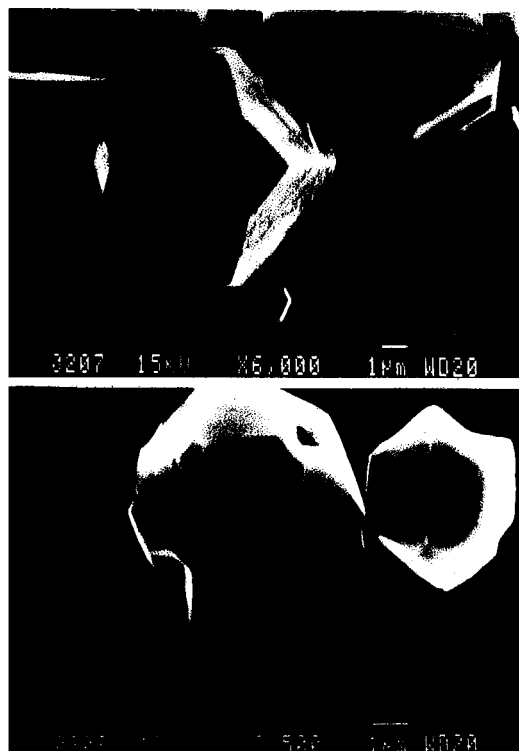


図 9



図10

図 9 が私たちが今作っております最初にできたダイヤモンドの単結晶の粒であります。まだ非常に小さくて1 ミクロンですが、それをしばらく続けておりますと一面ダイヤモンドの薄膜で覆われることになります。図10がその断面で、シリコンを割って調べてみますと、表面にダイヤモンドの薄膜ができていることがわかります。これはボロンをドーピングしておりますのでP型であり、水の中に入れて光を当てますと非常に強い還元力が出ます。炭酸ガスが還元される可能性があります。この方面の研究も行っているわけですが、この時、非常に面白い現象を見付けることもできました。

シリコンの表面をエッチングして、ポーラスにしますと、シリコンの表面が光ってくる、光るシリコンというのが応用物理学会などで注目されています。つまり、シリコンをフッ化水素の水溶液の中でプラスに電圧をかけますと、表面がポーラスになります。シリコンの表面が凸凹になった上にダイヤモンドを作ってみましたところ図11に示しますように、ダイヤモンドの網ができました。

白いところがダイヤモンドです。しかも、このダイヤモンドの網の大きさはある程度自由にコントロールできることがわかりました。

スケールの大きさは1 ミクロンですが、非常に粗い網から細かい網までシリコンの基板を操作するだけで変えることができます。

これにはどんな応用があるか、今考えているところであります。

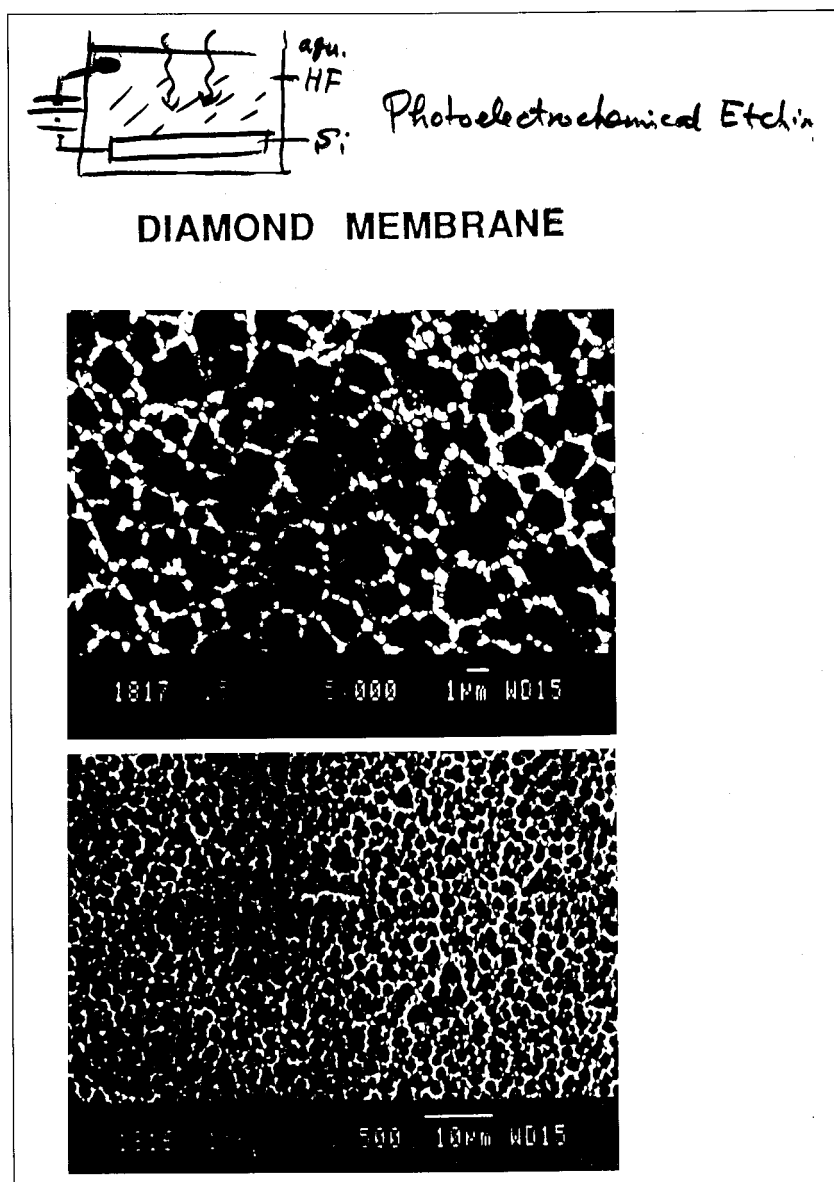


図11

5. TiO_2 光触媒反応のすばらしさ

——MRSAもこわくない

さて、酸化チタンを使って白金と組合せて光を当てますと、水が分解できるということをお話申し上げました。ではこの応用ですが、エネルギー変換としての水素、あるいは、酸素の生成ではなくてもっと他の応用があるかということで、今特に注目されておりますのが光触媒です。最近、新聞や雑誌の化学の方面の専門的なところなどを見て頂きますと、光触媒という言葉がよく見られるようになって参りました。

光触媒として酸化チタンを使い、水の中、あるいは空気中で光を当てます。半導体が光を受けて電子がたたき出されます。水があると水から電子がとられてOHという非常に反応活性が高い化学種ができます。このOHがいろいろなものを

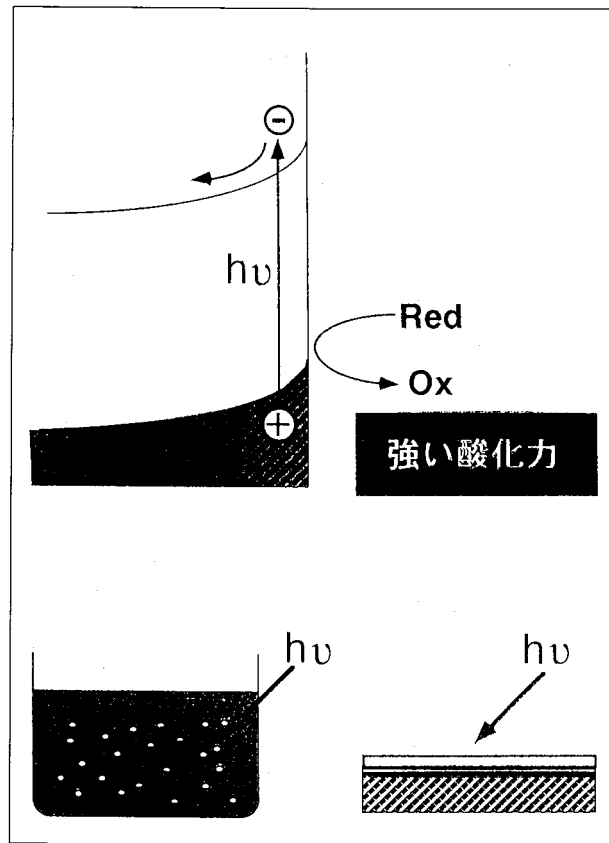


図12

分解する酸化力があります。この強い酸化力を使って、いろいろな応用を考えていこうというのが、光触媒反応です。その強い酸化力をもつことができるものの代表が、酸化チタンという白い粉です。図12に示しますように、この酸化チタンの粉を水の中に入れて光を当てますと、その一つ一つの粒が酸化チタンと白金電極を使った時の電極と同じような働きをして、一つ一つが小さな光電池として働くと考えることもできます。もっと簡単にはたとえば、いろいろな基板の上に酸化チタンの薄膜を塗りますと、様々な化合物が分解される反応が起こるということになって参ります。

これを光触媒と呼んでおりますが、この現象は、今までは困った反応ということで嫌われていました。なぜかと申しますと、酸化チタンというのは、白いペンキの中の一番の材料であります。たとえば、ベンチにペンキが塗ってあります。太陽光が当たりますと図13に示しますように、ペンキがボロボロになってしまいます。なぜボロボロになるかといいますと、酸化チタンは光を受けると非常に強い酸化力ができるためペンキの中のバインダーである有機物を全部分解してしまいます。そして、白い粉が中から出てくる。これはペンキにおいては困った問題でありまして、チョークの粉がでてくる現象ということでチョーキング効果と言われています。これは起こらないようにしなければならない。ペンキ業界の方々がずっと研究なさってきたことです。

ところが今、私がお話申上げておりますのは、これをなるべく積極的に利用してやろうということです。そしてペンキのバインダーを分解するのではなく、たとえば空気中の不純物、あるいは、空気中のにおい物質、または、水の中の様々な有害物質を分解しよう、という使い方です。

このような考えの国際会議が2年前にできました。カナダで行われまして、世界中から200人位の方が集まって、酸化チタン光触媒を使って水と空気をきれいにする国際会議であります (図14)。

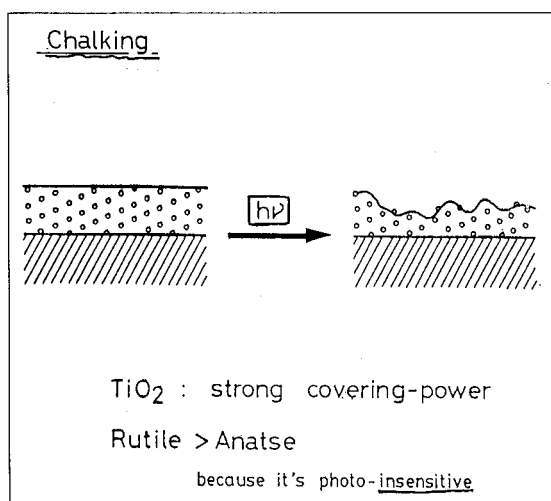


図13

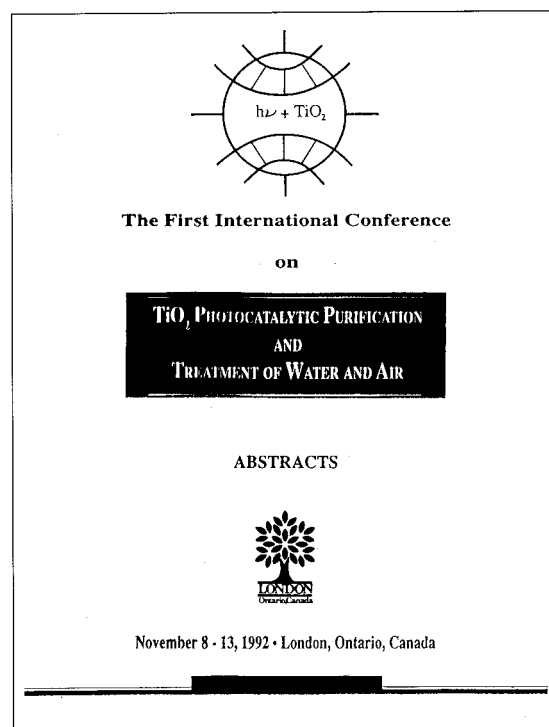


図14

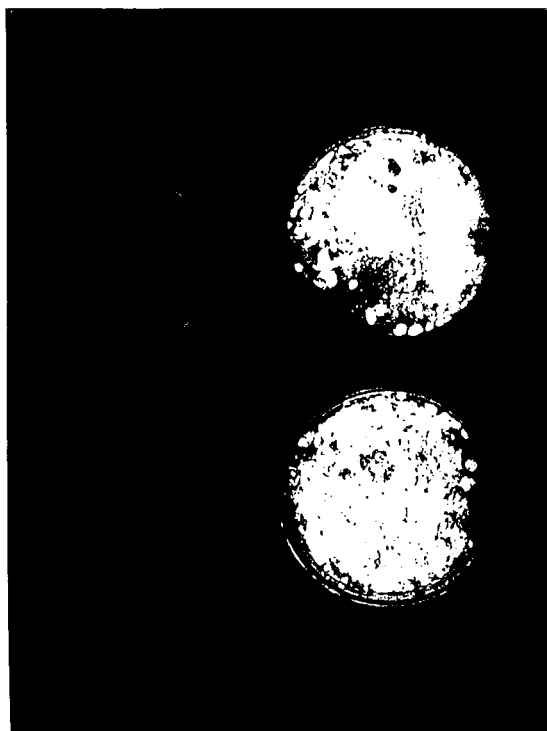


図15

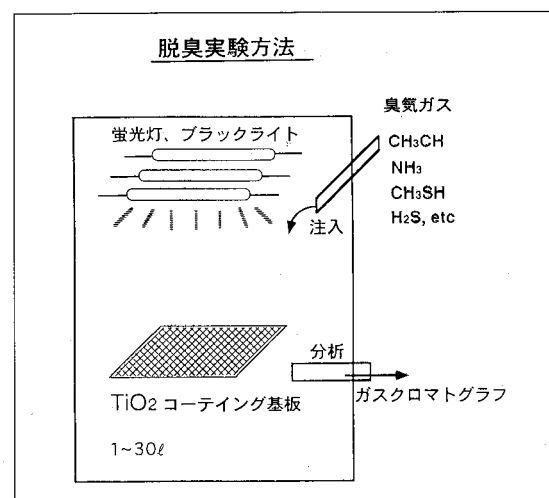


図16

光触媒のおもしろい一つの例として、テキサス大学のアダム・ヘラー先生の研究があります。アメリカ政府も注目しているようです。タンカー事故があって油が海に流れてしまうとその処理は非常に大変です。今、シャーレの中に原油を置いて、そこに酸化チタンの粉を入れると酸化チタン表面にオイルが集ってきます。

このシャーレをしばらく光の下に置いておきますと、酸化チタンの持つ強い酸化力によって、油はどんどん分解され完全になくなってしまいます。そして酸化チタンの白い粉がそのまま残ります。酸化チタンというのは砂の一種ですから、使用されたあとは海岸に打ち上げられれば砂になってしまうということで、非常に簡単にタンカー事故で流出をしたオイルを分解できるというのが一つの応用であります（図15）。

では、においを消すことはできないだろうか。図16が私たちがおこなっております簡単な実験です。酸化チタンをコーティングした基板に非常に悪臭を出す、たとえばアンモニアやメチルメルカプタン、硫化水素といったものを入れて、酸化チタンに感じる光を当てます。もしにおい物質がたくさんあれば、ブラックライトという光を使います。図17が一つの結果であります。アセトアルデヒドという非常に臭うものを図16の実験装置の中に入れます。濃度は100ppmという単位です。光を当てますと分解して無くなってしまいます。又におい物質を入れますと又分解してしまいます。この光源は蛍光灯の光でいいということになりました。

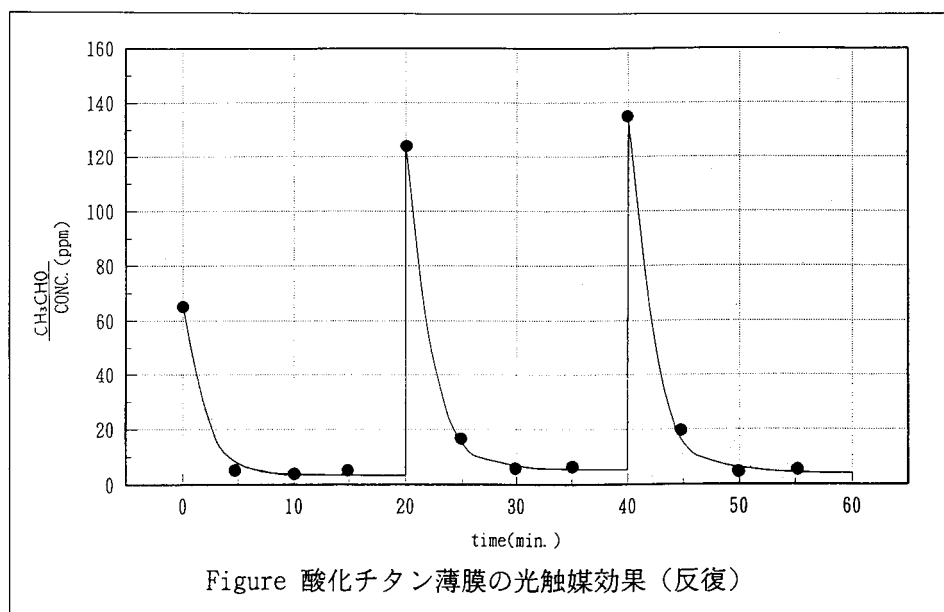


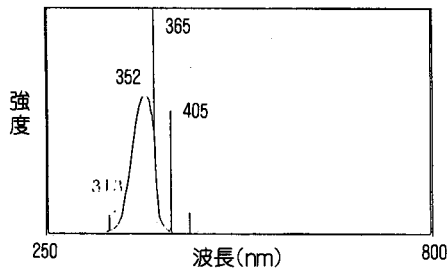
図17

当然ながら、濃度が濃い場合には強い光が必要です。

ブラックライトとはどんな光かと申しますと、皆様は行かれたことはないかも

室内灯のスペクトル

BLB蛍光灯



白色蛍光灯

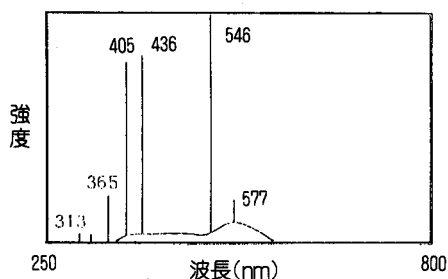


図18

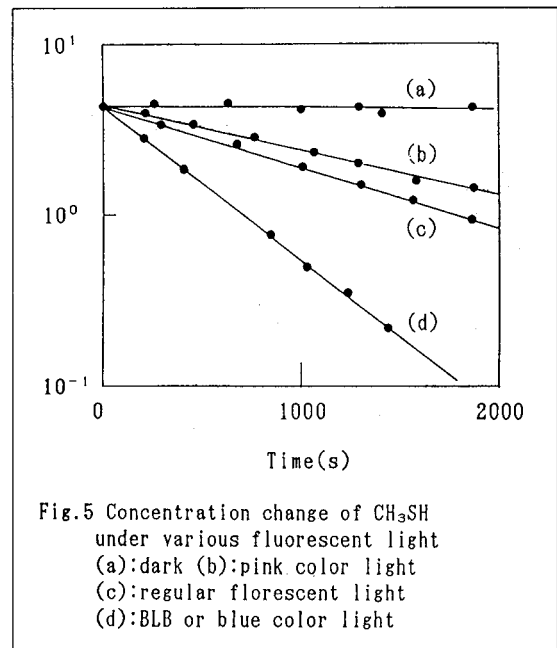


図19

しませんが、ディスコなどで照明に使う光源がブラックライトです。人間の皮膚などには悪くないのですが、紫の光を出すのがブラックライトです。図18にブラックライトと白色蛍光灯のスペクトルを示しておきます。

図19に示すように、ブラックライトなどを使いまして、メチルメルカプタンを分解する実験を行いました。蛍光灯を使ってもにおい物質を分解できるということが分かりました。

ブラックライトは352ナノメートル(nm)に沢山の紫の光を持っていますが、蛍光灯も365ナノメートル位の光を持っています。これをうまく使いますと空気中のにおい物質を分解できるということになります。

ここでの濃度は1ppmというオーダーでありました。100万分の1という濃度であります。

8大悪臭物質を表1にあげます。人間の鼻は非常に感度がよくて、たとえば、メチルメルカプタンの場合ですと、臭いと感じる濃度は0.00012ppmです。図19の実験はその大体4ケタ、5ケタ上であったということになります。日本政府の規制値というのは0.002ppmでありますけれども、それでもほんのわずかの濃度です。

光エネルギーを使う時には必ず強い光を使うことが常識でありました。しかし、図20のマンガを使って考えてみますと良く理解することができます。敵を想定して、それを全部殺さなければならない場合、敵が沢山いればピストルでは効果が

表 規制8物質と規制基準の関係

悪臭物質	各臭気強度表示と物質濃度との関係 (ppm)					規制値 (ppm)		
	臭気強度 1	臭気強度 2	臭気強度 3	臭気強度 4	臭気強度 5	臭気強度 2.5	臭気強度 3	臭気強度 3.5
アンモニア NH_3	0.15	0.59	2.3	9.2	37	1	2	5
硫化水素 H_2S	0.0005	0.0056	0.063	0.72	8.1	0.02	0.06	0.2
メチルメルカプタン CH_3SH	0.00012	0.00065	0.0041	0.026	0.16	0.002	0.004	0.01
硫化メチル $(\text{CH}_3)_2\text{S}$	0.00012	0.0023	0.044	0.83	16	0.01	0.05	0.2
トリメチルアミン $(\text{CH}_3)_3\text{N}$	0.00011	0.0014	0.019	0.24	3	0.005	0.02	0.07
アセトアルデヒド CH_3CHO	0.0015	0.015	0.15	1.4	14	0.05	0.15	0.5
スチレン C_6H_6	0.033	0.17	0.84	4.3	22	0.4	1.26	2
二硫化メチル $(\text{CH}_3)_2\text{S}_2$	0.00028	0.0029	0.03	0.31	3.2	0.009	0.03	0.1

出典：日本環境衛生センター、悪臭物質の測定等に関する研究（昭和54年度、環境庁委託研究報告書）、1980

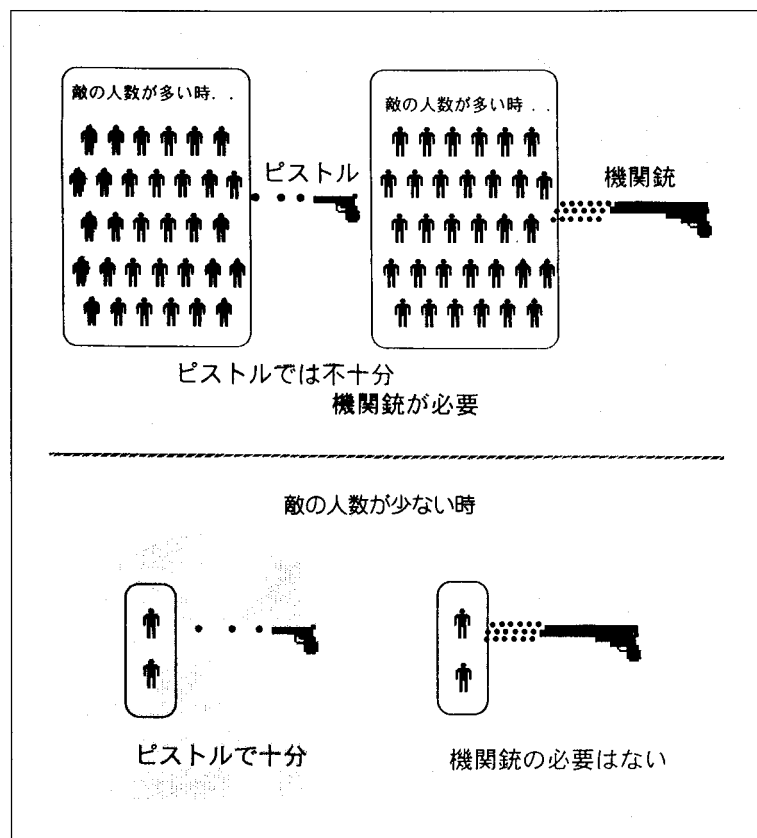


図20

ありません。その時はやはり、機関銃を使わなければ敵を全滅することはできません。しかし、たとえばにおい物質の場合、人間の鼻は非常に感度がよく、つまり、敵はほんの少人数であり、それを殺すために、強い光源は必要ではないことがわかります。蛍光灯の中の弱い紫外線でも十分であるということを意味しております。却って強い光源を使っても意味が無いということです。つまり、反応しようとするものが少ない場合には光は弱くてもよく、蛍光灯の中の紫外線で十分

日本 薬理 雑誌 2001 1993年(平成5年)9月11日(土曜日)

MRSA殺菌タイル

東大など開発 光触媒を利用

東京大学工学部の藤田教授が開発した。表面に酸化チタンを塗布したタイルは、光の力で殺菌する。MRSAの共同研究グループは、試験ではMRSAを約三分の二に殺菌した。また、院内感染の原因となるメチリシンの耐性菌であるMRSAを殺菌する効果を持つタイルを開発した。

酸化チタンは紫外線など光の力で殺菌する。表面に塗布したタイルは、光の力で殺菌する。MRSAの共同研究グループは、試験ではMRSAを約三分の二に殺菌した。また、院内感染の原因となるメチリシンの耐性菌であるMRSAを殺菌する効果を持つタイルを開発した。

タイルを約一分の一の厚さに削り、約千倍の面積を加えて殺菌する。試験ではMRSAを表面に二平方センチメートルの面積から約三平方センチメートルの面積にまで広げた。光は三十分で十分と見られる。MRSAは約三分の二に殺菌した。また、院内感染の原因となるメチリシンの耐性菌であるMRSAを殺菌する効果を持つタイルを開発した。

図21

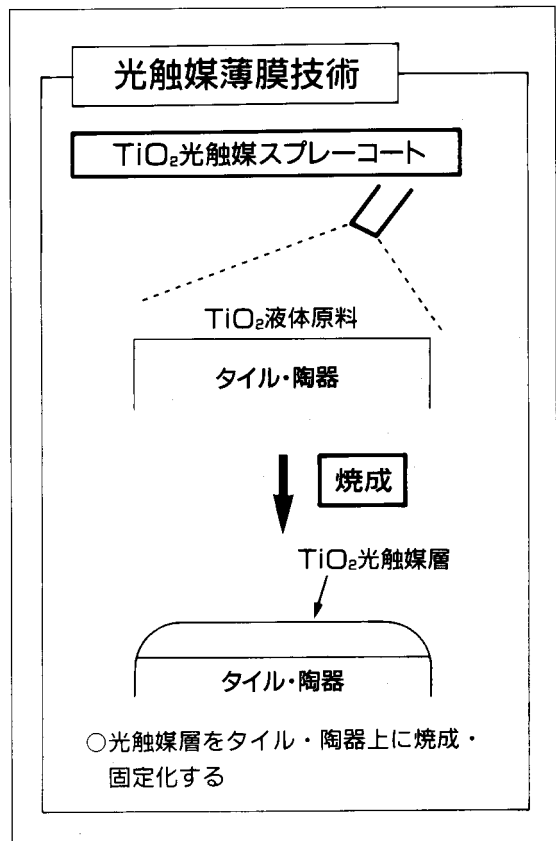


図22

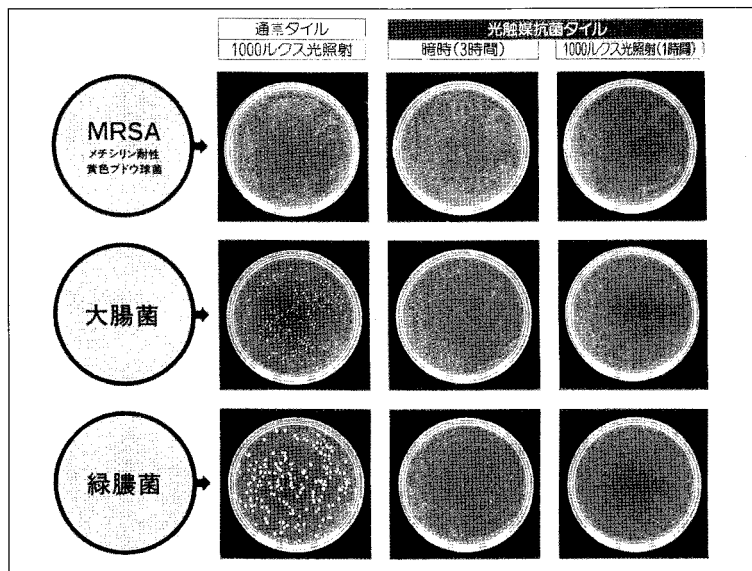


図23

であるということを意味しているわけです。

光触媒をもっと積極的に応用できる分野はどこか。今、よく話題になっておりますのが院内感染、MRSAというものであります。病院に入っていると余計病気になるってしまう、つまり、抗生物質が効かないような菌ができてしまう、その

一つがMRSA菌であります。

このMRSA菌を悪臭物質と同じように、殺すことができるか。

図21は去年の9月の日経に出たものであります。光触媒を使ってMRSA菌が簡単に殺せる。しかも、病室の中の壁に酸化チタンでコーティングしたタイルを使っていればできるということであります。

私たちは今、TOTOや石原産業と一緒に研究しております。図22に示しますように酸化チタンの微粒子をタイルの最終段階の釉薬の代りに吹きかけますと、タイルの表面が酸化チタンで覆われることになります。

酸化チタンは透明で1ミクロン位の厚さがあれば十分ですから、見た目には酸化チタンが表面に存在することすら分からないわけです。しかし酸化チタンをコーティングしますとMRSA菌が完全に死んでしまいます。普通のタイルですと菌がどんどん増殖するのに対して、この光触媒タイルを用いますとMRSA菌、あるいは、緑膿菌のようなものが完全に無くなるという結果が得られました。(図23)

今、光触媒というのが注目されている分野の一つになりつつあります。図24に示すように、かつては、太陽エネルギー変換をして、水素を得よう、あるいは、

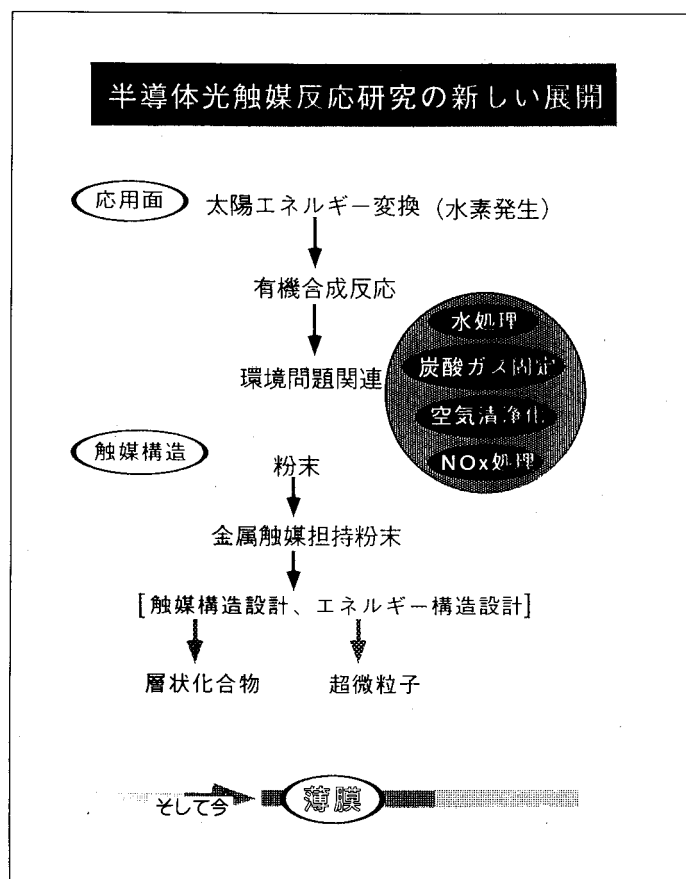


図24

有機合成反応に使ってやろうということがありました。それらを効率よく行うには非常に強い光が必要です。しかし、反応しようとするものがわずかならば、もっと弱い光でもいいわけですから、今住んでいる環境の中で使われていない所に酸化チタンをコーティングすれば、部屋などがきれいになるということになるわけです。

におい物質が分解され、殺菌力もあることがわかりました。もう一つ面白い結果はタバコのヤニが取れて、汚れないという現象です。タバコの煙というのも臭うわけですが、自動車などでタバコを吸う人の車内は臭います。ヤニが付いているからです。ヤニが付かない材料はできるか、というのが次のテーマであります。

実際にタバコのヤニを付けて光を当てたときの結果をみてみましょう。酸化チタンが塗ってあるガラスの上にヤニを付けて光を当てますと、ヤニがどんどん取れていくことがわかります。つまり、汚れない建材を作ることができるというのがもう一つの応用であります。

今までお話した光触媒の応用として図25に示しますように、酸化チタン薄膜をコーティングした建材が面白いのではないかと思います。

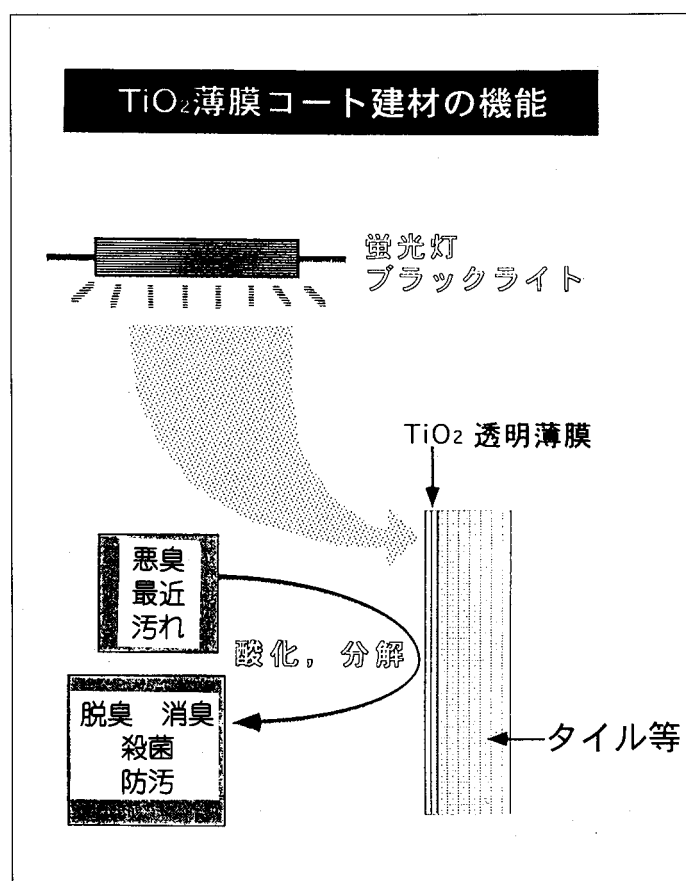


図25

蛍光灯の持っているわずかな紫外線を使って、悪臭物質を分解し、殺菌をし、そして汚れがあればそれを全部分解してくれる働きがあるというのが酸化物質光触媒建材です。

さて、生活空間をきれいにできることをお話しましたが、もう一つの面白い応用が、「がんが治る」ということであります。

6. 光治療の可能性

——がんも治る

酸化チタンによるがん治療も今、医学の先生方と一緒に研究しています。

黒人のエメリッタという人が1956年に子宮がんになりましたが、その人から採ったHeLの細胞という世界中の人が使っている標準がん細胞があります。それを私たちも使いました。これを酸化チタンの表面に付けて増殖させます。酸化チタンの表面が一面がん細胞で覆われるわけですが、それに光を当てます。

そうしますと、どういうことが起こるかを写真で示したのが、図26です。酸化チタンの持っている強い酸化力によって、光を当てた所のがん細胞は全部死んでしまうことが分かります。右の光を当てなかったところは盛り上がってきます。増殖が止まる機構が無いというのががん細胞の恐ろしさであり、がん細胞の特徴であります。

酸化チタンの薄膜を使いますと応用が限られてしまいます。そこで、酸化チタ

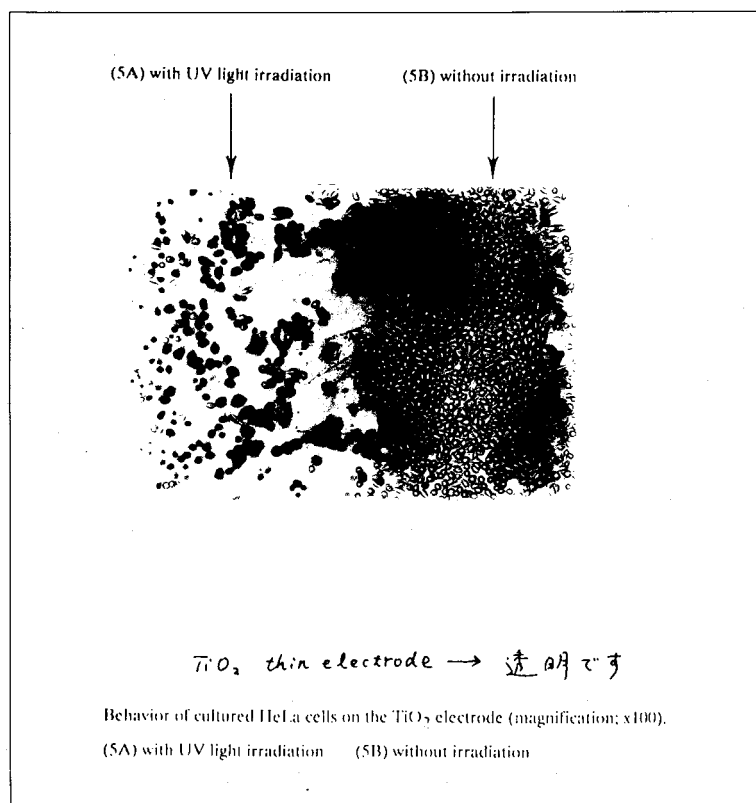


図26

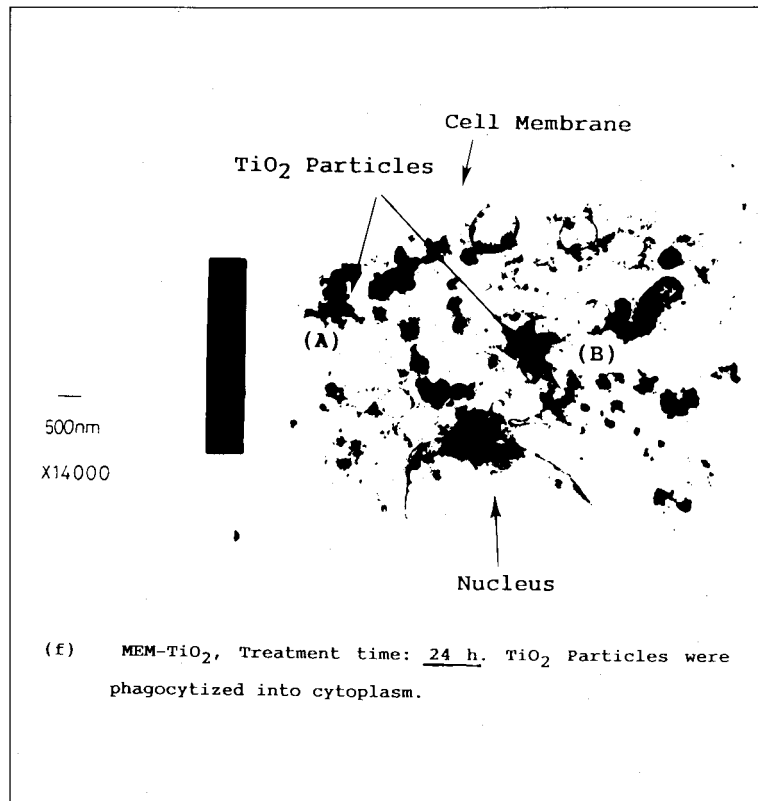


図27

ンの超微粒子を使ってがん細胞の中に入れてやります。

100個以上のがん細胞でできていますのをコロニー（植民地）と言います。光を当てなければ、コロニーは沢山あります。しかし、光を10分間当てますとコロニーがもうほとんど無くなってしまったことがわかりました。つまり、酸化チタンの超微粒子でもがんの殺細胞効果に使うことができる、ということになりました。

しかも、不思議なことにがん細胞は、酸化チタンの超微粒子を喜んで食べてくれるようであります。図27が、がん細胞を切って断面写真を撮ったものです。酸化チタンの超微粒子は細胞の膜の所にもあるのですが、細胞の中にもあります。つまり、超微粒子の酸化チタンをがん細胞は喜んで食べてくれ、そこに光を当てるとがん細胞が死ぬということであります。私たちは今、この現象を利用したヌードマウスでの動物実験を、横浜市大の先生方と共同で行っております。

ヌードマウスのがんができた所を切開して、酸化チタンを注射し、そこに光を当てますと、がんの大きさが縮小しました。これは、一昨年のがん関係で権威のある雑誌の一つ、アメリカの「キャンサー・リサーチ」に採用された論文からの図であります(図28)。横軸は日にちで10日、20日、30日を示し、たて軸はがんの大きさを示しております。一群5匹のヌードマウスを使って実験しますと、酸化チタンを与えず光も当てなければ、がんがどんどん大きくなって全部死んでしまいます。酸化チタンを入れて光を当てますと効果があります。しかし、完全では

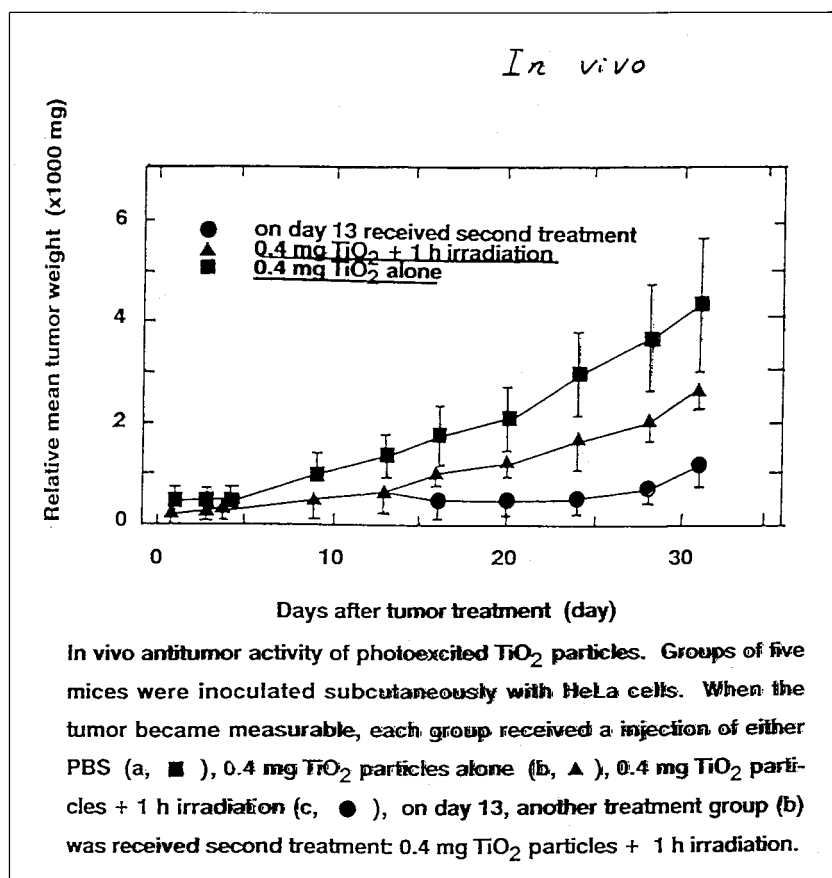


図28

ありません。なぜか。それは皮膚の中に、酸化チタンに感じる紫外線を入れることができないというのが一番の欠点であります。それでもう一回だけ光を当てると普通の抗がん剤よりも非常に効果があると、お医者さんたちに言われております。

このように酸化チタンの光触媒反応を使って、がんを治そうということで動物実験まで行っているわけです。皮膚というのは紫外線を全部カットしてしまいますので、酸化チタンの超微粒子をがんの所に供給しながら、同時に光も当てられるようなファイバーがあればいいということで、今、図29のように、照射できて酸化チタンの微粒子も供給できるようなファイバーを作りまして、それを使って臨床実験にいかうとしているところであります。

がんについてはまだ人体のところまでいっていないのですが、動物実験までは成功したというところであります。

7. 新しいメタライゼーション

——人工骨も使いやすくなる

アパタイトというセラミックスは、骨に非常に近い物質で、放っておくと骨に完全に付いてしまう物質です。このアパタイトをもっと加工しやすくし、例えば

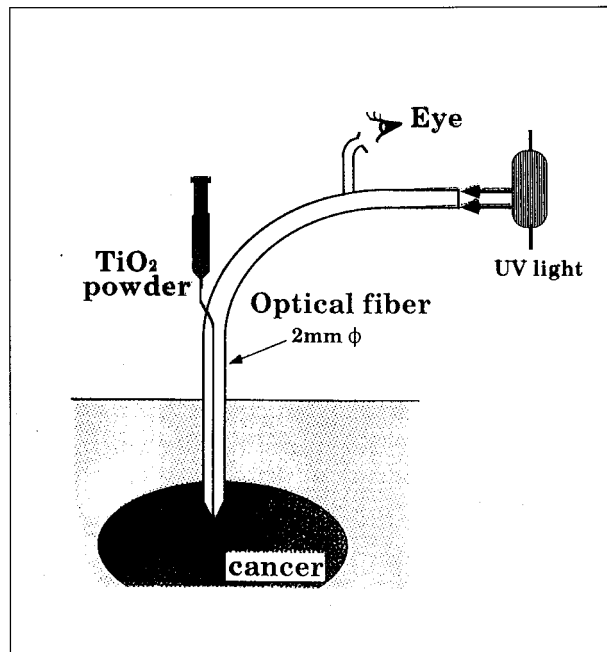


図29

ボルトで締められるようにすることが重要になってきます。アパタイトにたとえば、人体に影響のない金を付けることができるかどうかというのが、今、話題の一つになっているようであります。ここでも私たちは、酸化チタンを使ってアパタイトへのメタル化も行っております。

アパタイトに金を強く付けることができる以外に、ほかの応用としましては、たとえば、コンピューターの基板へのメタライゼーションがあります。

今後コンピューターの密度が上がってきますと、基板の上に銅の回路、あるいは、金の回路を細かく書かなければならないわけです。この基板に対して金属をいかに密着力よく、しかも、均一に付けることができるかどうかというのが重要になるわけです。たとえば、一つの例として、ガラスの上に金属を非常に細かく密着力よく付けるのは、なかなか難しいのですが、酸化チタン、あるいは、その親戚である酸化亜鉛を使ってメタライゼーションを行いますと、ガラスの上にパターンを非常に細かく、しかも強く作ることができるようになりました。これも光触媒の応用ではないかと思っているわけであります。

8. おわりに

最後にまとめますと、酸化チタンという半導体の一種には水と接する場所があり、そこに光が当たると、不思議にもさまざまな反応が起こるということです。水が分解されて酸素と水素が出る、あるいは、細菌なども死んでしまうような非常に強い酸化力ができる、というのが今日のお話しのまとめになるわけです。光に感じる半導体があって、それが液体あるいは気体に接している。そこに光が当

たりますといろいろな面白い現象が起こり、新たな概念が生まれ、新しい反応が見つかる。そして様々な応用に発展するということになって参りました。

以上は私たちがやっている一つの分野でありますけれども、サイエンスのありとあらゆる所で同じような面白い反応が、まだまだ隠されているのではないかというふうに感じている次第であります。

どうもご静聴ありがとうございました。

質 疑 応 答

——レーザーを使った医学の中で同じようなことをやっているんですが、ヘマトポルフィリン誘導体を血液の中に入れて、24時間から48時間でがんが集まったところに、レーザーの光を当てると制がん剤になって、酸化でがんが治るということになります。先程の酸化チタンの粉を血液に入れますと、恐らく、白血球がそれを捕らえてしまってがんまで行かないということになると思うんですね。

ですから、皮膚の表面の乳がんとか皮膚がんには使えますけれど、他の体の中にはこの方法は使えないんじゃないかと思えますけれど、その辺は……。

「まだ私たちは、動物実験の段階です。酸化チタンを体の中に入れてがんの所に集まるかどうかという実験までは行っていません。シャーレの中での実験としましては次のようなことを行っております。

今、先生におっしゃって頂きましたヘマトポルフィンというのは、がんに特異な吸着作用があるということで、酸化チタンの表面を、ヘマトポルフィンで修飾しました。これをシャーレに入れます。この酸化チタンが正常細胞とがん細胞のどちらへ行くかというのを、実験しました。主にがん細胞の方へ行く、つまり、ヘマトポルフィンをナビゲーターにして、がんの所に酸化チタンだけをもっていくということは、実験室的にはというかシャーレの中ではできました。

但し、まだ動物実験的に行っておりませんし、先生のおっしゃるように、今度は他の所に注入した場合に本当に輸送されるかどうか、多分できないと思います。先生のおっしゃるとおりだと思います。

そこで私たちは、がんのある所に常に供給するようなことをまず考えたいと思っております」。

——もう一つは今言われた紫外線が必要ですから、エキシマレーザーを使うとかになると思いますね。

「私たちが使っています酸化チタンの場合は、3.0eV、波長に直しますと415ナノメートルという紫外線ですので、先程申し上げました蛍光灯の中の光でも十分なものですから、普通の水銀灯で十分であると思います」。

——分かりました。

——金とアパタイトの接着ですけれども、実際にどれ位の強さでくっ付くのか。あと、どういう機構で付くのかということをちょっと知りたいと思います。

「今、機構的にも全部分かっております。では、どの位の強さで付くかということですが、私たちは今、2mm角のところで引張り試験を行っております、

大体10kgです。10kgになりますと、接着部分は切れなくて非常に強いのですけれども、リード線が切れたり、アパタイト自体が壊れてしまいます。ガラスの場合も、大体ガラスが割れてしまいます。それ程強い接着力を持っております」

——接着の機構の方は……。

「機構はミクロ的にポーラスになっているためと考えています。普通のプリント配線基板やアルミナのセラミックスの基板などでは、表面に凸凹を作るために、エッチングして、機械的なアンカー効果というのを作るわけですが、私たちの場合にはその小さな粒子自身が、ミクロなアンカー効果を出しているのではないかと考えております。データーも全部ございますけれども、ご説明できる時間がありませんでした。