

本田財団レポート No. 126

「マグネシウム・エネルギー社会の到来」

東京工業大学大学院
理工学研究科 機械物理工学専攻教授

矢 部 孝

財団法人 本田財団

講師略歴

矢 部 孝 (やべ たかし)

東京工業大学大学院
理工学研究科 機械物理工学専攻教授



《略 歴》

- 1950年 宮崎県生まれ
- 1973年 東京工業大学工学部機械物理工学科卒業
東京工業大学工学部機械物理工学科助手
- 1981年 大阪大学レーザー核融合研究センター講師
- 1985年 大阪大学レーザー核融合研究センター助教授
- 1986年 西独カールスルーエ原子核研究所客員教授（1年間）
- 1988年 群馬大学工学部電気電子工学科教授
- 1989年 東京大学物性研究所教授（併任、1年間）
- 1995年 東京工業大学大学院 総合理工学研究科
創造エネルギー専攻教授
- 2000年 東京工業大学大学院 理工学研究科 機械物理工学専攻教授

《主な活動歴・受賞歴》

- 1999年 英国王立研究所200周年記念講演
- 2004年 日本機械学会・計算力学部門・功績賞
流体科学賞
- 2006年 国際数値流体力学学会名誉フェロー
- 2007年 APACM Award for Computational Mechanics
(APACM 計算工学アジア太平洋連合)

《主な著書》

- 1989年 「シミュレーション物理入門—超粒子モデルの世界」
矢部 孝 川田重夫 福田昌宏 共著 朝倉書店
- 1992年 「パソコンによるシミュレーション物理」
矢部 孝 観山正見 梶島成治 共著 朝倉書店
- 2003年 「CIP法—原子から宇宙までを解くマルチスケール解法」
矢部 孝 尾形陽一 内海隆行 共著 森北出版
- 2007年 「CIP法とJavaによるCGシミュレーション」
矢部 孝 尾形陽一 滝沢研二 共著 森北出版 ほか多数

このレポートは平成20年11月5日パレスホテルにおいて行われた第108回本田財団懇談会の講演の要旨をまとめたものです。

ただ今ご紹介にあずかりました東工大の矢部と申します。本日はこのような立派な席にお呼びいただき、どうもありがとうございます。

今日の私の話は、かなり夢のお話という事でお聞きいただきたいと思います。昨今、経済情勢が悪い等、いろいろ暗い話ばかりありますが、せめて今晚くらいは夢を持っていただき、楽しくお聞きいただければと思います。夢に対していろいろなご批判はあろうとは思いますが、夢は夢ですので、そんなに硬くならずにとゆっくりとお聞きいただきたいと思います。

水資源の確保と温暖化を防止するにはどうしたら良いか

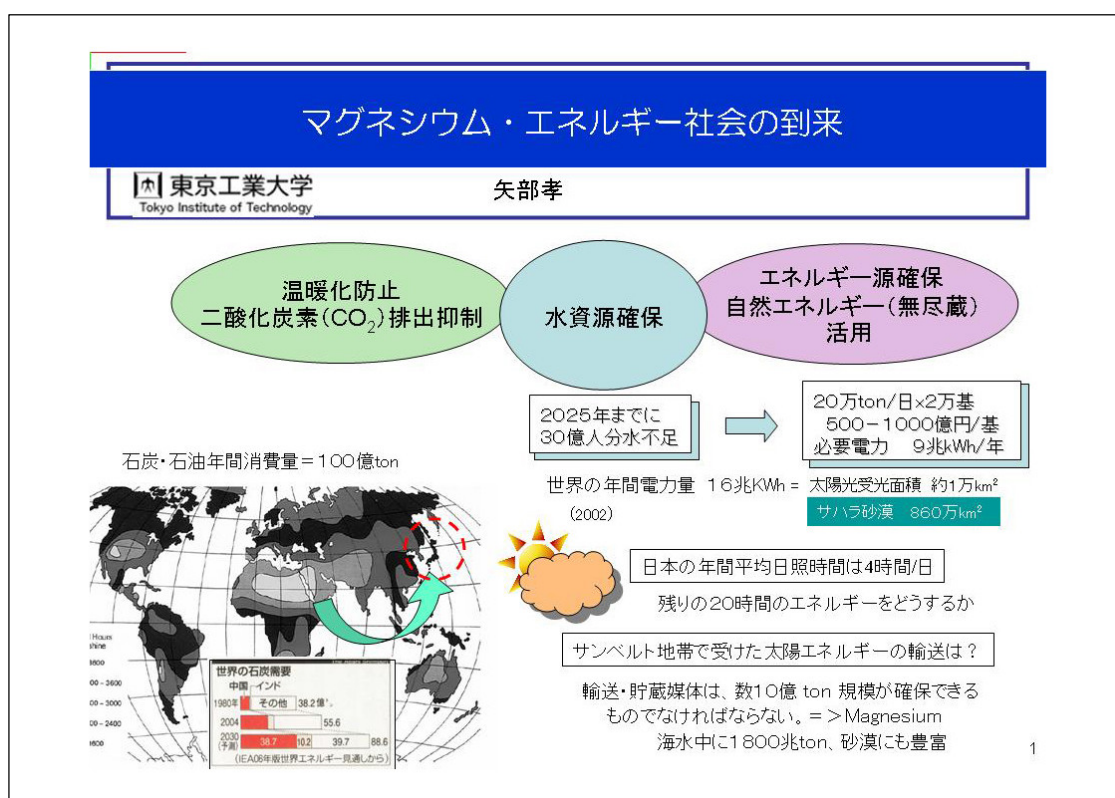


図-1

〈図-1〉 私が今取り組んでいるのはマグネシウム・エネルギー社会という、皆さんお聞きになった事がない話だと思います。当然ながら現代は温暖化を防止しなければいけない、水資源を確保しなければいけないと、いろいろな問題があります。ここで大事な事を一つお話ししますが、水資源の確保はあまり議論されていません。実は 2025 年までに 30 億人の水が不足すると、あるレポートでは言っております。

ただ数字だけが言われていますが、実際に良く考えるとこれは大変な数字です。もしこれを現在、一番電力を使わないという逆浸透膜の淡水化装置で作ったとしても、必要電力としては 9 兆 kWh/年という巨大な電気が要ります。2002 年の世界年間電力量が 16 兆 kW ですから、この 60%が新たに水を作るために今から 20 年以内に要するという事は、非常に大変な事です。ところがこういう数字がまったく言われていないところが問題です。我々はこういった水資源の確保を何とかしなければいけないという事を、まず一つの課題として取り組んでいます。

もう一つは、温暖化防止のために CO₂ を削減するにはどうしたら良いか。単純に太陽エネルギーを使うなり、いろいろなエネルギーを使うという話がありますが、まず皆さんのそのような議論の中の視点が一つ欠けているところがあります。何かと言うと規模の問題です。すなわち我々は年間 100 億 t の石炭・石油資源を使っています。毎年です。そうすると、これを代替するエネルギーは、これに匹敵するような巨大規模のものでなくてははいけません。これを忘れると何でもありということになり、あまり言いませんが、こういうものにはまったく対応出来ない技術も沢山提案されています。

石油・石炭と同規模の資源はあるか



図ー2

〈図ー2〉 石炭に代わるといって、例えば自然エネルギーを使おう、太陽エネルギーを使おうということがあるかも知れませんが、太陽エネルギーを使うとして、例えば日本を考えましょう。日本では大体年間平均すると、曇りや雨を入れて1日に4時間ぐらいしか日が照っていません。そうすると太陽電池を100%の効率で開発したとしても、4時間ぐらいの太陽光ではどうしようもない。あと20時間はどうするのですか。そうするとエネルギーを蓄電池で蓄えようと言いますが、石炭・石油100億t規模のものを蓄えるようなものがあるのでしょうか？という事を考えなければいけない。

実際には世界中に太陽エネルギーがないところが沢山あります。そういうところにも分け与えてあげなければいけないとなると、例えば太陽がさんさんと輝いている砂漠地帯など、いろいろなところの太陽エネルギーを持って来なければいけない。持って来る媒体は何でしょうかと言うと、キャパシタなどの蓄電池を持って来るわけには行かないので、何らかの軽い輸送媒体が必要になって来ます。では、その輸送媒体はどういう規模があるかと言った時、実は100億t規模という事をいつも考えなければいけない。そうすると、せめて数十億t規模の輸送媒体が必要という事になります。



図－3

〈図－3〉 では、候補としてどういうものがあるかと我々は考えました。まずは 100 万 kW のエネルギーが欲しい。たった 1 日分です。これを例えば水素で蓄えたとしたら、どれぐらいの量になるかを計算します。そうすると 1km×1km、高さが 10m という巨大なタンクが必要になって来ます。100 万 kW というのは一つの発電所です。その発電所のたった 1 日分で 1km 四方のタンクが要るのです。これをマグネシウムで蓄えたらどれぐらいになるかと言うと、たった 15m×15m×10m という非常に小さいタンクで済みます。

私がこう言うと、例えば今、自動車会社などは 700 気圧の高圧のタンクで蓄えられるではないかという話があると思いますが、良く学生に昔のこういう話をします。ブラウン管のテレビなどは今ほとんどありませんが、ブラウン管の中は真空です。外が 1 気圧、大気圧です。ブラウン管 1m×1m の表面に大体どれぐらいの重さがかかっているか知っていますかと聞きます。計算すると 10t の力がかかっています。これが実は空気の押す力です。

700 気圧のタンクという、7000t が 1m 四方にかかっているわけです。車 7000 台を 1m 四方に積んでいると思ってもらうと判ると思いますが、ものすごい数字です。こういったもので大きなタンクなど作れない。車に積むぐらいの小さいタンクだったら作れるかも知れませんが、普通にエネルギーを蓄えるようなタンクとしては、まず無理であるという事はすぐ判ると思います。そうすると水素で蓄えるわけには行かない。

では水素を何かの形に変換しようかという話は、化学反応式を見ればいくらでもあります。しかし、実際に発電所規模のエネルギーを瞬間的に出せるような化学反応がありますかという、実はないのです。こういった規模の問題があります。

有望な物質であるマグネシウム

もう一つ、埋蔵量の問題があります。先ほど 100 億 t の石炭に代わるものという話をしましたが、例えば亜鉛を使うという提案もいくらでもあります。しかし亜鉛の世界の埋蔵量は 4 億 t ぐらいしかありません。4 億 t しかない亜鉛を使うかというとなぜか使えない。アルミも良いと思いますが 150 億 t ぐらいしかありません。世界中で埋蔵量が 150 億 t ですから、こういうものを

資源として使うのはどうでしょう。鉄は 8000 億 t とありますので結構良いところに行っていますが、エンジンとして燃やすのが大変です。

そこで我々はマグネシウムという、皆さんにあまりなじみのないものに注目していますが、実はマグネシウムの資源はべらぼうに沢山あるのです。地球の地殻上で大体 8 番目とされています。それだけではなく実は海水があります。地球の大半は海水です。海水中に実は豆腐のにがりになるマグネシウムが含まれています。そのマグネシウムが、海水中に 1800 兆 t という巨大な資源で眠っています。エネルギー換算すると、石油 30 万年分の資源が眠っているわけです。

あるいはアリゾナやモンゴルなどの砂漠に行くと、昔は海底にありましたので、にがりが沢山堆積しています。ですから砂漠の砂をすくい上げると、マグネシウムが沢山出て来るところが地球上にあります。こういった意味ではマグネシウムは資源としては非常に沢山あるという事が分かると思います。

さらにもう一つ、マグネシウムは非常に安全です。昔の方、お年の方は大体マグネシウムと言うと、「鳩が出ますよ、パチッ」というようなカメラフラッシュの事を思い浮かべて、マグネシウムは危険であると思われる方が非常に沢山いらっしゃいますが、例えば数 mm 角のマグネシウムだと、ライターでいくら火をつけてもまったく燃えないことを、私たちは経験をしています。実は燃やすのが大変な物質です。また、10 年間、空気中にほったらかしたマグネシウムでもちゃんと燃料として使えることが分かっています。そういう事で保存が非常に簡単です。

もう一つは後でお話しますが、マグネシウムの燃料電池が今開発されており、リチウムイオン電池の約 7.5 倍の出力がもう現実になって来ています。こういう意味でマグネシウムというのは非常に有望な物質であることがお判りになると思います。

繰り返し使えるマグネシウム燃料電池

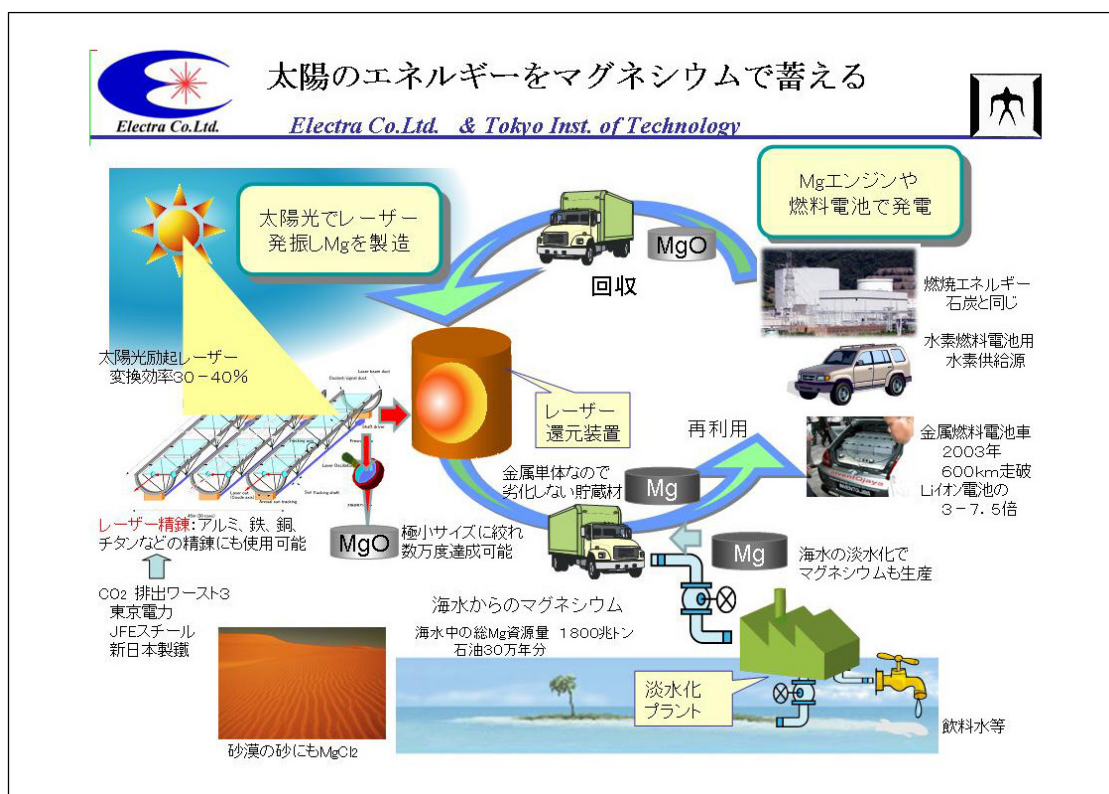


図-4

〈図-4〉 私たちはこれを使ってどのようなサイクルを考えたかと言うと、まず海から、あるいは砂漠からマグネシウムを取り出します。マグネシウムを取り出したら燃料電池、あるいは発電所で使います。石炭が燃えるとCO₂が出ますが、マグネシウムが燃えると酸化マグネシウムと言う、酸素とくっ付いたマグネシウムが出て来ます。ここで太陽エネルギーを使い、酸化マグネシウムを完全に分離し、マグネシウムが再生出来れば、これによって太陽エネルギーをマグネシウムという一つの原子に蓄える事が出来ます。蓄えたエネルギーを、夜でもいつでも好きな時に酸素と結合させて燃やせばエンジンとなるというのが、我々の目指しているものです。

実は3年前に私たちがこのすべてのサイクルを提案した時に、非常に多くの方が面白い、面白いと言われましたが、実現はほとんど無理でしょうねという方が非常にいらっしゃいました。私たちは別にそういう事を気にしないたちですので、どんどんやって来ました。実はその3年後が今なのですが、どのレベルまで来たかという事を、今晚皆さんにお見せしたいと思っています。

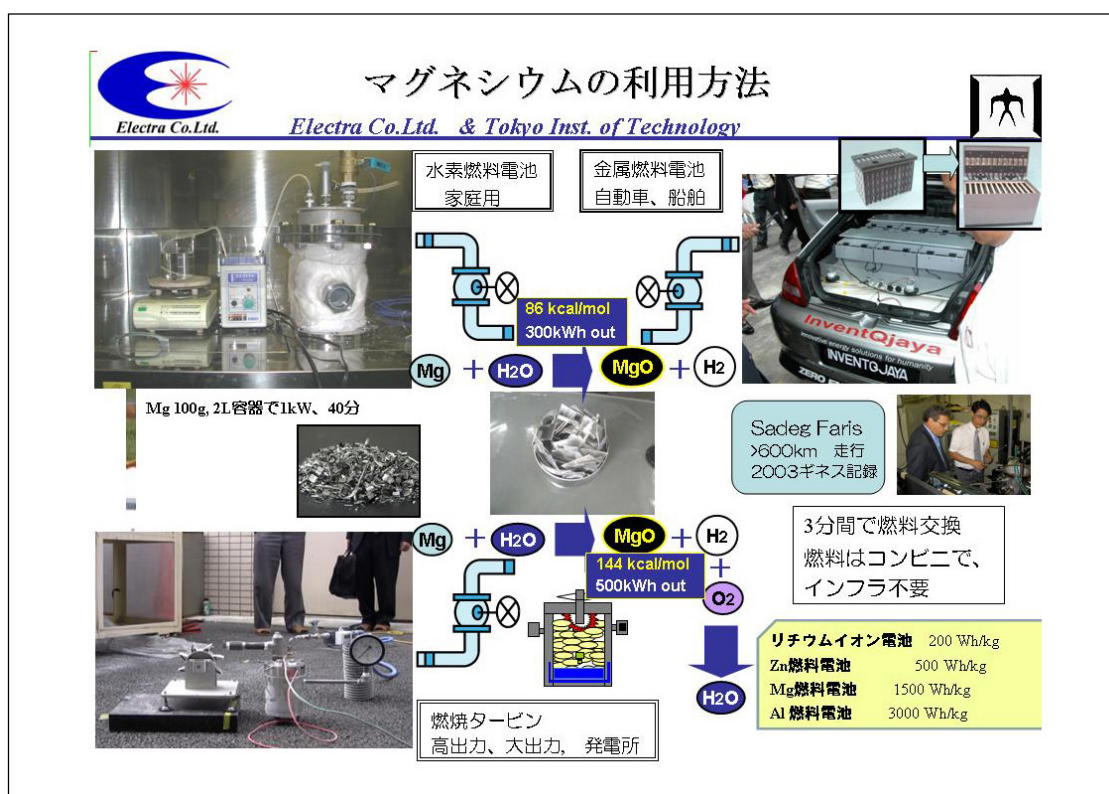


図-5

〈図-5〉 まずはマグネシウムを燃やすというプロセスが、どれくらい進歩して来たかというのをお見せします。図-5 左下の実験映像は次の URL で見る事が出来る。

<http://www.hondaefoundation.jp/kondankai/yabe/windmill.wmv>

最初にマグネシウムを 600℃ くらい的高温にし、そこに水をかけると水の中の酸素を吸って反応を起こします。水の中の酸素を吸うと残りの水素が出て来ます。その水素をいわゆる皆さんが良くご存知の水素燃料電池の水素源として使おうという試みが一番簡単なやり方です。

皆さん驚かれるかも知れませんが、アメリカ、カナダでもうすでにベンチャー企業が数社出ています。アメリカの会社などは、NASA の技術により水素を取り出す、マグネシウムの何とかかんとかと言ううたい文句でやっています。NASA を担ぎ出せば何でもえらい技術のように見えますが、そんなに大した技術ではありませんで、マグネシウムに水をかければ水素が出る。それだけの話です。

これは我々が手をつけないでベンチャー企業にやらせておこうと思っていますが、もう一つのやり方は、もっと粒を細かくすると格段に反応スピードが速くなって来ます。スピードが速くなって来ると水素までも燃え始めます。マグネシウムと水が反応して水素が出て来ますが、水素も酸素と反応して水になって出て来るのです。この水蒸気によってタービンを回して発電します。こういうのはちょうど石炭による火力発電所とまったく同じ事なので、石炭の火力発電所の石炭をマグネシウムに替えるだけで、今のインフラはまったく変えないで行けます。

この話は相当マグネシウムが出来ない先の話で、皆さん乗って来ないのですが、もっと実現の早い話があります。もうすでに開発が進んでいるのが、実は金属燃料電池と呼ばれる、皆さ

んがほとんど聞いた事がないものです。燃料電池と言うと、皆さんすぐ水素燃料電池と思われるかも知れませんが、燃料電池というのは燃料であれば何でも良いわけで、水素を使うから水素燃料電池です。木炭を使えば木炭燃料電池になるのですが、ここで紹介するものは金属を使うから金属燃料電池と呼ばれています。



図－6

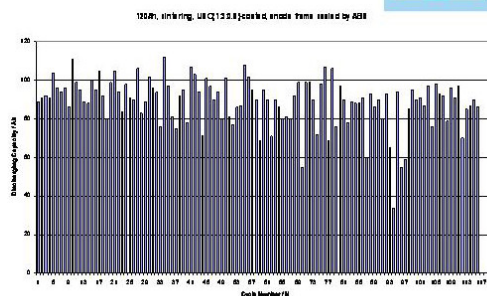
〈図－6〉 私が今一緒にやろうとしている、サデク・ファリスさんというアメリカの発明家は、今から5年前にホンダのインサイトという車を改造して、マレーシアで2003年に亜鉛の電極を差し込んで、車の600km走行に成功しています。この人たちが開発したのが亜鉛燃料電池です。亜鉛燃料電池というのは、もうすでにリチウムイオン電池の2.5倍の性能を持っています。先ほど私が言いましたように、亜鉛というのは資源量が4億tしかありませんので、こんなものをエネルギーに使うのはおかしいと言ったのはこういう事なのです。では何を使うかと言うとマグネシウムです。マグネシウム燃料電池だと、大体リチウムイオンの7.5倍の出力が出て来ます。



>100 Recycle of Metal Fuel

3分間で燃料交換

燃料はコンビニで、インフラ不要



リチウムイオン電池	200 Wh/kg
Zn 炭素電池	500 Wh/kg
Mg 炭素電池	1500 Wh/kg
Al 炭素電池	3000 Wh/kg

Sadeg Faris
>600km 走行
ギネス記録

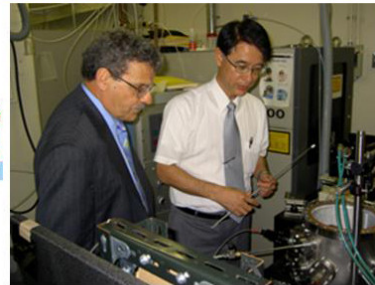


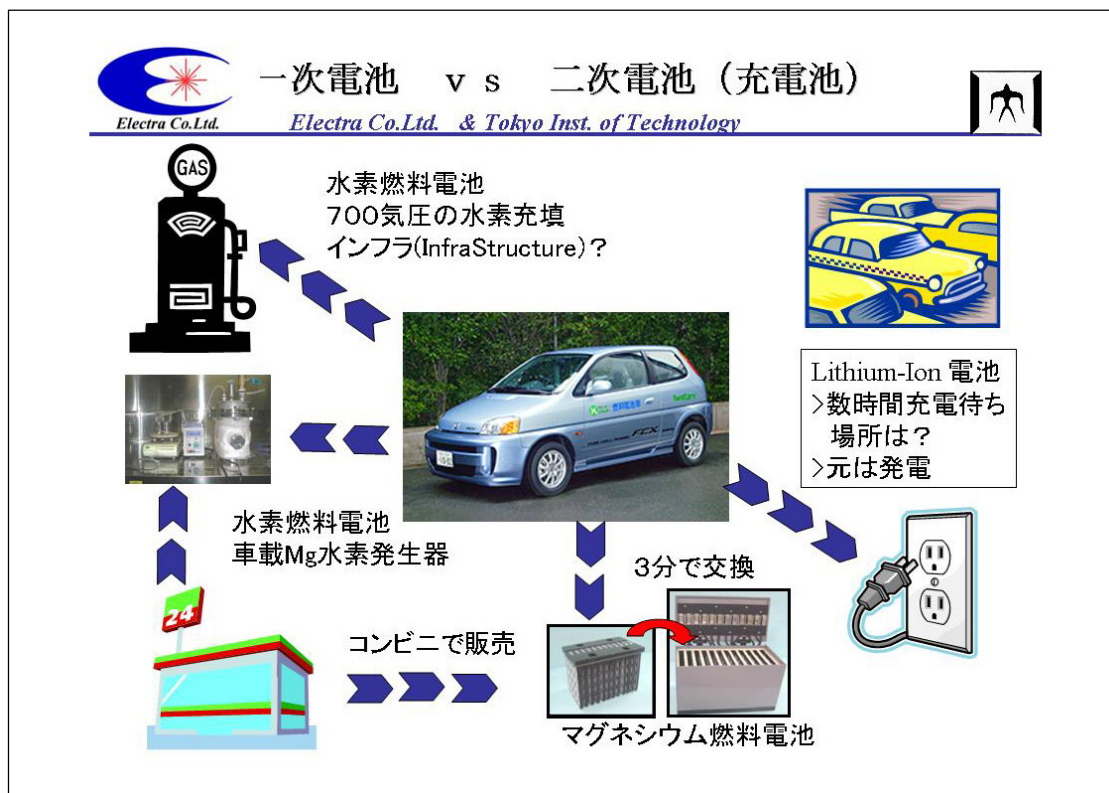
图-7

〈図－7〉 サデク・ファリスさんは面白い事をやっていて、これが燃料電池と呼ばれる理由ですが、先ほどの亜鉛の電極を電池と切り離し、電極を何回も入れ替えたのです。1回使って酸化したものは抜き取って、また入れ替えるというようにして、リサイクルをどんどんして行きます。100回ぐらいやっても、ほとんど出力は落ちないという結果が出ています。ですからこれを燃料電池と呼んだのです。実態は何かというと空気電池です。空気電池というのは昔の非常に古い電池で、空気と金属との酸化作用を利用した電池ですが、電極と本体を切り離した事で燃料電池という事になったのです。

これは非常に重要な事です。皆さん、ご存知かどうか知りませんが、電池の性能というのは本体もすべて入れた重さに対して、出力がどれくらい出るかで判断されます。1回しか使わない電池だと、金属電池というのは非常に性能が悪い。本体が重いので当たり前です。ところが電極を何回も入れ替えると、全体の重さは電極を100回使えば100倍の電極の重さになり、本体の重さは全然関係なくなりますので、金属本来のエネルギーの換算になって来ます。そうすると性能は格段にアップして行きます。

こういう頭の切り替えが出来ないと世界を制覇出来ません。実は私はこの話を2年前に日本の多くの電池メーカーにお話ししましたところ、すべての電池メーカーがこんなものは性能が悪くてだめと言われたのを覚えています。このように頭の切り替えが出来ないと取り残される事になります。

これからの 100 年は金属燃料電池



図－8

〈図－8〉 実際に水素燃料電池というと、700 気圧の水素を充てんするインフラを世界中にばらまかななければいけない。これはたぶん無理ではないか。あるいはリチウムイオン電池だと、充電するためのコンセントを世界中に置かなければいけない。何時間充電に待つのでしょうか。こういう事ではだめでしょう。

その代わりにマグネシウム燃料電池だと、マグネシウムをコンビニに置いておけば良い。コンビニで真空パックなり窒素か何かのパックをしておくと、全然問題なく反応しません。こういったものをコンビニで販売して、そのパックをパッと開けて電池の本体に差し込めば、マグネシウム電池は今言ったように亜鉛の 3 倍ありますから、1 回の充電で 1800km ぐらい走る車になります。こういった社会が来れば良いと思って、2 年前から「日経サイエンス」や、その辺でいろいろ言って来ました。

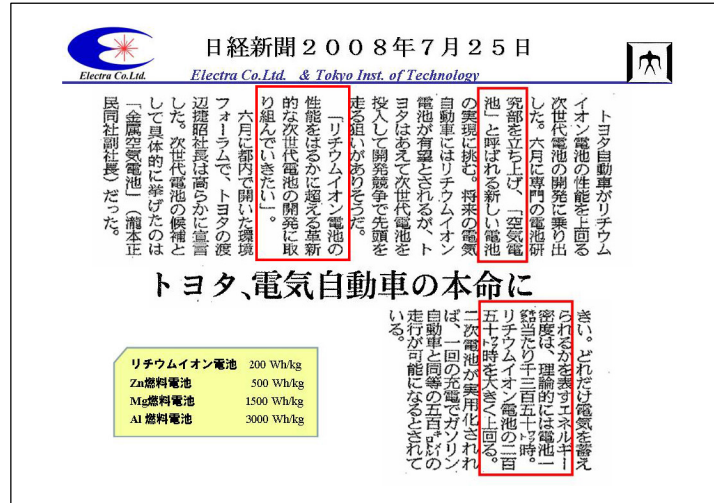


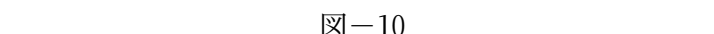
図-9

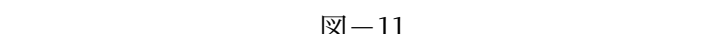
〈図-9〉 ここに来て援軍が現れました。援軍かどうか我々が乗っ取られるかどうか判らないのですが、日経新聞の 2008 年 7 月 25 日版をお帰りになったら見ていただけると良いと思いますが、ここで少し読ませていただきます。

「トヨタ自動車はリチウムイオン電池の性能を、はるかに超える革新的な次世代電池の開発に乗り出した。空気電池と呼ばれる新しい電池」と書いてあります。空気電池というのは全然新しくないのです。ものすごく古い電池です。それなのに空気電池と呼ばれる新しい電池と書いてあるところに、皆さんギョッとしたと思います。傑作なのはここです。「電気をどれだけ蓄えられるかを表すエネルギー密度は、理論的には電池 1kg 当たり 1350Wh」。いま私が言った事を思い出していただくと、亜鉛では 500Wh/kg です、これは亜鉛ではありません。マグネシウム燃料電池は 1500Wh/kg です、まさにマグネシウム燃料電池の事を言っているのです。

しかし、この記事には一言もマグネシウムは出て来ないのです。記事全体は亜鉛、亜鉛と言いつけているのですが、亜鉛では絶対に実現しない数字を言っています。トヨタがどれだけ本気が分かりませんが、このような援軍が現れたのは我々にとって幸か不幸か、まだこれから先にならないと判りません。

ここで少し振り返っていただくと、ガソリン自動車を我々は相当長い事をやっているように思いますが、実は 1907 年に北京ーパリ間の 1 万マイルのレースがあり、初めて 1 台のガソリン自動車が 1 万マイルを走破しました。これがわずか 100 年前なのです。その後 100 年間はガソリン自動車が謳歌して来ました。昨年は 2007 年で丁度 100 年目だという事で、これから金属燃料電池自動車が今後 100 年間は謳歌するぞと我々は言っております。

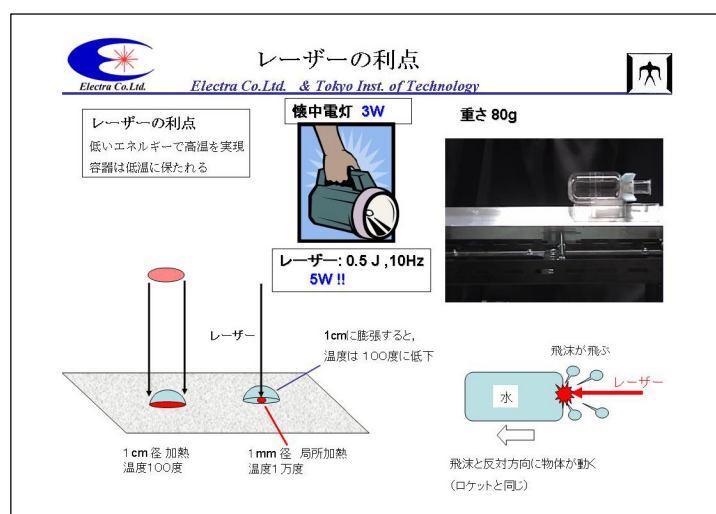




• • •

すなわち、頬をたたくという事は、時間的に集中しています。エネルギーを短い時間で与える。もう一つの、鉛筆の芯で押すという事は、空間的に集中している。そうすると痛い。このようにレーザーというのは、時間的にも空間的にもエネルギーを集中する事が出来るものなのです。

その一つの例です。私たちは 2002 年ぐらいにレーザーで飛行機を飛ばしましたが、それが「ネイチャー」「ニューヨーク・タイムズ」などの色々な紙面で、かなり大きく取り上げられた事があります。どういう事かと言うとペットボトルに水を入れておきます。例えば右側の方からレーザーを照射します。すると、ペットボトルに入っている水が蒸発してレーザーと反対方向に飛んで行きます。飛んで行った反作用でペットボトルが今度は左側に動きます。これはまさにロケットと同じ事です。水を噴出しながら飛んで行くペットボトルです。そのエネルギーはどこから来たかと言うと、レーザーから来たのです。



図－12

〈図－12〉 これはそんなに大した事ではないと思いますが、問題はの時使ったレーザーの出力です。このレーザーの出力は平均して 5W です。5W がどれぐらいかと言うと、懐中電灯 3W と同程度です。懐中電灯でいくらペットボトルを照らしても、絶対にペットボトルは動きませんが、これをレーザーという時間空間で圧縮されたものを使うと、ペットボトルが動くのです。これがレーザーです。図－12 右上の実験映像は次の URL で見る事が出来る。

<http://www.hondaoundation.jp/kondankai/yabe/pet80g.mpg>

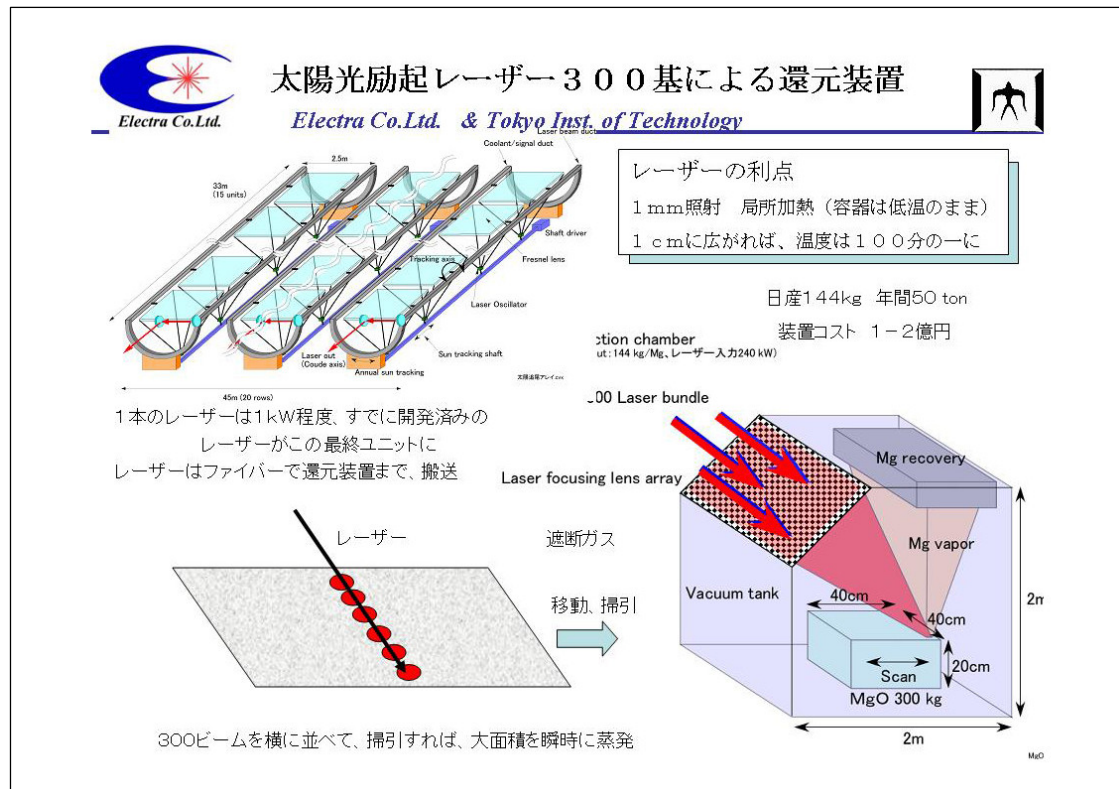


図-13

〈図-13〉 例えば酸化マグネシウムというのはくっ付いていて離れたくない。離れたくないものを無理やりにはがそうとすると、ものすごいエネルギー＝温度を加えないといけない。その時に例えば光を1cm ぐらいの大きさで当てたとします。先ほどの懐中電灯と同じです。1cm ぐらいの大きさで当てたとすると、ここの温度は100℃ぐらいにしかならない。ところがこれを1mm の大きさで当てたとすると、この温度は1 万℃になります。100℃までしか上げられないような温度を、集中する事によって1 万℃の温度が達成出来る。これが、我々はなぜレーザーを使ってマグネシウムを還元するかという秘密になります。

ところが1mm ぐらいの小さな点でやると、産業用では全然成り立たない。生産性が全然上がらないではないかという問題について、我々は、1 個 1 個は小さいのですが、1mm の径で300 個並べる。そうする事により、マグネシウムを効率良く取る事が出来るではないかという事を提案しました。レーザーというのは光ファイバーで持って来る事が出来ますので、何十 m でも持って来る事が出来ます。

あらゆる分野で使われるマグネシウム

この300 本のレーザーでどれぐらいのものが出来るかと言うと、大体年間50t ぐらいのマグネシウムが取れるようになります。50t ではしょうがないのですが、装置コストは1 億円か2 億円ぐらいで行ける。我々はこういった事を利用して今から20 年間、こういった事を目標にやるかというロードマップを作りました。

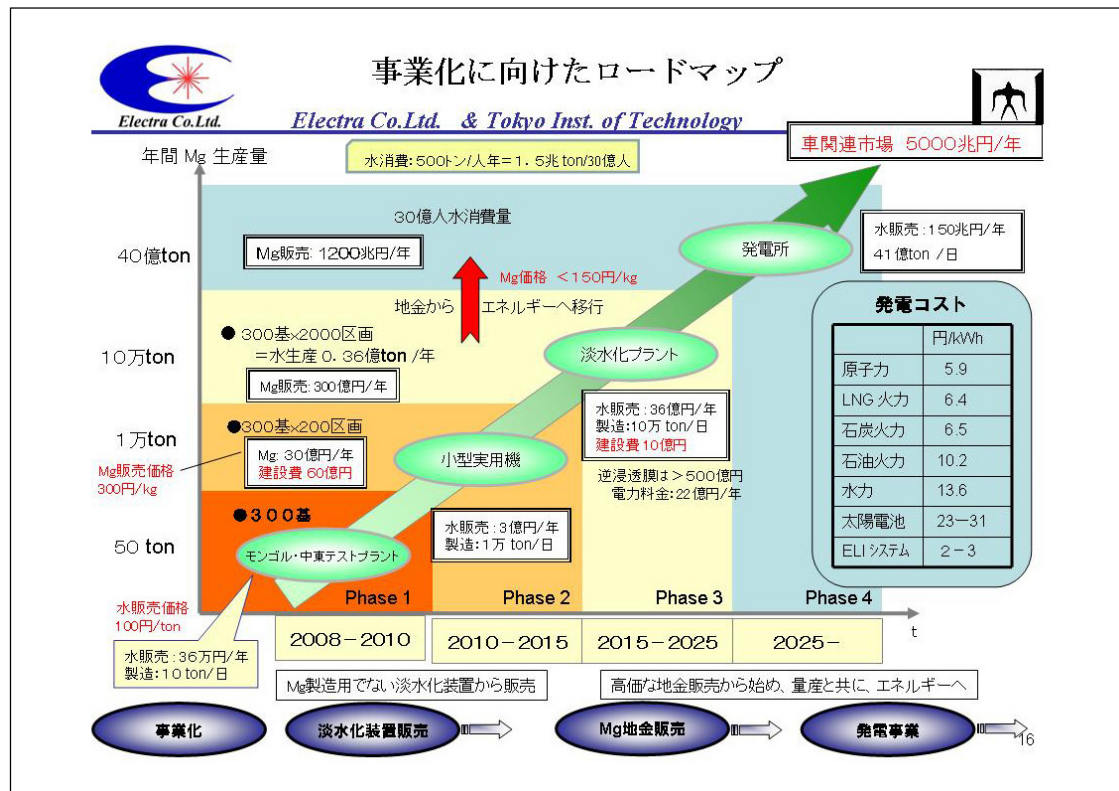


図-14

〈図-14〉 我々としては、先ほど言った 300 本のレーザーを、どこか日本ではなく太陽光が沢山あるところで作り、まず 50t を実現します。それが出来たら、300 基を一つのモデルとしてそれを 200 個作る。300×200 で 6 万個作ります。これで大体 1 万 t ぐらいのマグネシウムを作ろうと。

我々が見込んでるのは、建設費が大体 60 億円ぐらいで 6 万基のレーザーが作れるだろうと思っています。これで 1 万 t のマグネシウムが取れるとすると、もしマグネシウムを現在、価格が 1kg600 円のを 1kg300 円で売ったとしますと、1 万 t のマグネシウムでは 30 億円になります。ということは毎年 30 億円儲かるという事になり、先ほどの建設コストが 60 億円なので、2 年間で建設コストが回収出来る事になります。

このような事をやって、マグネシウムを売りながら、徐々にマグネシウムをつくる装置を増やして行く。将来的にはこれによってもっと安いマグネシウムを作り、エネルギーとして持って行こうと考えています。



図-15

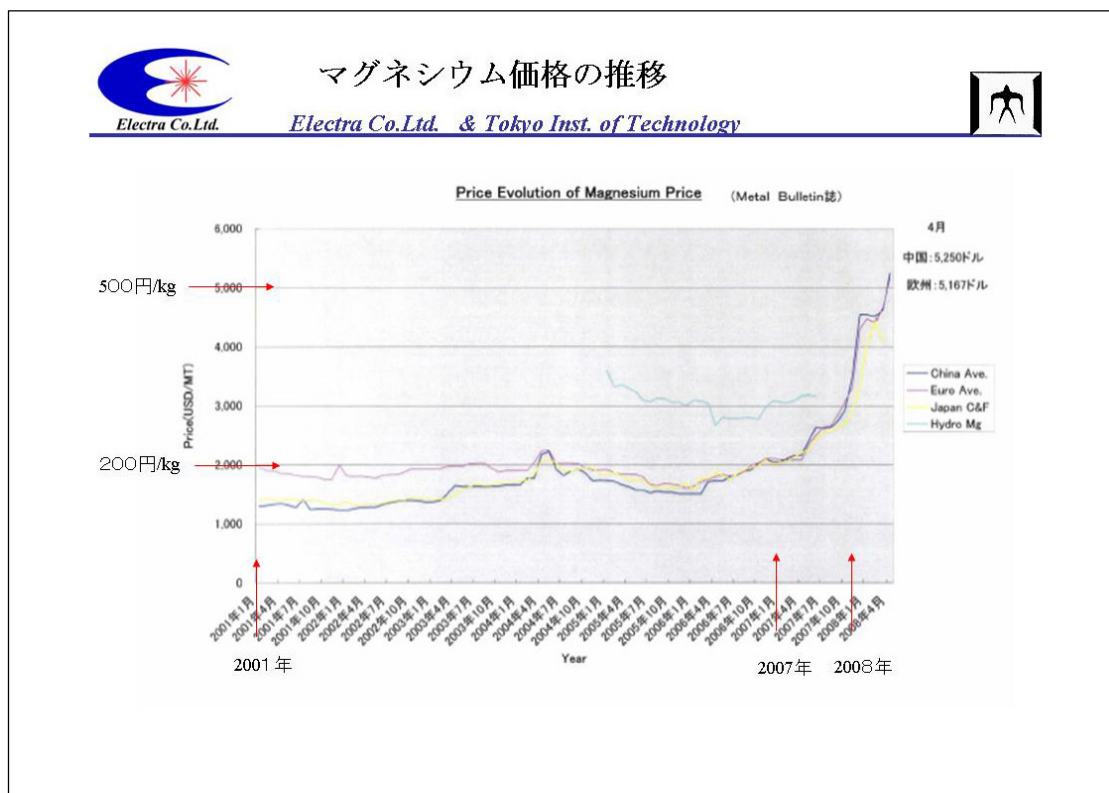
〈図-15〉 実はこれを考えた理由が一つあり、マグネシウムと言うのは現在、非常に沢山のところで使われ始めています。何故かと言うと、比重が鉄の4分の1、アルミの3分の2です。しかもすごく固いのです。電磁シールドが非常によろしい。それから繰り返す振動に強い。つまり激しく震動するようなところに強い。あるいは比熱が小さいので、すぐ熱がなくなってしまふという事で、こういった非常に良い性質を持っているので、いろいろなところで使われています。

例えばパソコンの筐体はみんなマグネシウム合金です。携帯電話のフレームもそうです。あるいはエンジンのカバー、ヘルメット、アタッシュケース等がありますが、もっと不思議な例があり、高級スピーカーの振動板は実はマグネシウムで造られています。

これらが今までの用途だったのですが、ここに来てもう一つ、別の用途が広がって来ました。エンジンです。GM、フォルクスワーゲン、BMWなどはエンジン部分をマグネシウム合金で造ろうという動きがすでにあり、もう開発が進んでいます。

もう一つ、マグネシウムがどういうところで使われるかと言うと、日本で一番多いのはアルミ合金の添加です。ジュラルミンはアルミとマグネシウムの合金です。鉄鋼の脱硫というものもあります。製鉄会社が鉄を作る時、鉄には硫黄分が含まれていますが、その硫黄分をマグネシウムで取っています。あるいはチタンの精錬にも使われています。という事で結構いろいろなところでマグネシウムは使われています。

効率良くマグネシウムを取る



図－16

〈図－16〉 もう一つ重要なのは、ウランの精錬にもマグネシウムが使われています。実はマグネシウムというのは重要な物質なのですが、ここで今重大な問題が発生しています。それは何か。マグネシウムが世界でどれだけ作られているかというデータがありますが、そのデータを見ると、だんだん中国の割合が増えています。現在は7割近くを中国が作っています。

そうするとどうことが起こるかと言うと、マグネシウムの値段は、2001年から2007年までは大体200円/kgをずっと安定的に推移していました。ところが2007年から2008年にかけて、急に約3倍の500円から600円近くに上がって来ました。これは一体どういうことでしょうか。それは、年を追うごとに中国の割合が大きくなり、ほかの国が生産を止めて来て中国独占状態になったからです。

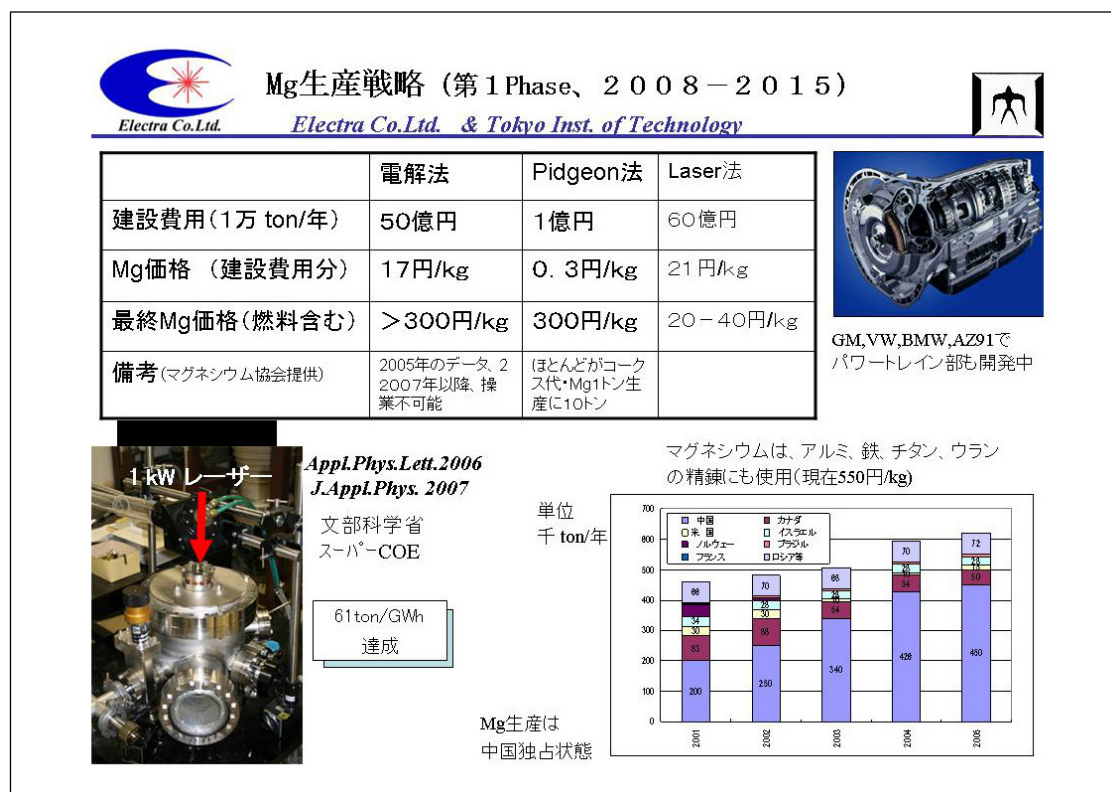


図-17

〈図-17〉 ほかの国はどういう方法でやっていたかと言うと、電解法と言って海の水から電気分解してマグネシウムを作っていたのですが、だんだん電気代が高くなって来て、やって行けなくなり潰れて行きました。先ほど言った 2007 年というのは非常に重要な年で、2007 年にノルウェーとカナダのマグネシウム精錬工場が閉鎖されました。閉鎖を受け、その次の年にすぐに値段を上げたというのは中国らしいと思います。これでもう完全に中国の言いなりの価格を、我々は受けざるを得ないという状況にきています。

では、これをどうするかと言うと、大変な問題が一つあります。マグネシウムを作るためには主に先ほど言った海の水から電気分解で作る電解法と、石炭を燃やして作るピジョン法があります。電解法で 1 万 t 作ろうとすると、設備コストが 50 億円という非常に巨大なお金がかかります。ピジョン法だと 1 億円で済んでしまいます。勝負は明らかです。しかも電解法は電気代がかかります。ただしピジョン法は石炭を燃やすための石炭代がかかります。それでも中国が勝って来た。

いまさら日本で作るかと言うと、実はこのピジョン法は非常に大きな問題があります。マグネシウム 1t を作るのにコークスを 10t 使います。と言う事は環境に最悪のシステムです。10 倍の CO₂ を出す。そうすると、こんなものは世界各国どこを探してもやれる国がもうないのです。

では、我々の方法では、装置コストは先ほど言いました 60 億円と結構高いのですが燃料は要らない。燃料が要らないとなると装置コストも入れて、おそらくピジョン法の 10 分の 1 の価格帯でマグネシウムを作る事が出来る、という事が我々の試算で判っています。

タイトルが「マグネシウム・エネルギー社会」ではありますが、いつもエネルギーを言うとき必ず言われるのは、コスト対エネルギーの比は何かということです。その装置を作って、エネルギーとして使えるまで一体何年かかるのかとか、そのコストでペイするのとか、いろいろ言われます。ところがエネルギーの前にもっとおいしい話が沢山待っており、マグネシウムを作ったら売れる。しかも数百万tクラスまでは売れます。数百万tぐらい作れるようになったら、あとエネルギーに移行するのは、もう完全に楽なところに行っています。エネルギーに移行する頃には、たぶん 150 円/kg を切るような価格帯に行くだろう。そうなると税金は別にして、リッター百五十何円のガソリンと匹敵するくらいの値段になって来ます。

エネルギー社会で、エネルギーを目指しているのに、最初はエネルギーをやらなくて済むというのが我々の手法の面白みであり、そういった戦略を我々は考えています。

太陽光からレーザーを

次は肝心の部分です。レーザーを使ってマグネシウムを還元すると言いましたが、このレーザーを電気から持って来たのではどうしようもない。このレーザーを太陽光から作る。こういう話をすると、皆さん、ほとんど眉につばをつけて信じないという人が沢山いらっしゃいます。なぜ太陽からレーザーが出来るのだろう。もっと勘違いする人は、太陽光から太陽電池を使って電気を作って、その電気でレーザーを作っている人が沢山いらっしゃいます。しかし我々は太陽光から直接レーザーを作る技術を開発しました。

太陽光によるレーザーというのは、相当昔から研究されており、今から 40 年前にアメリカの海軍研究所が太陽光でレーザーを発振したという実験があります。それ以来、連綿とその技術は続いて来ているのですが、いかんせん効率が悪すぎ、総合効率が 0.7% という非常にみっともない数字でした。すなわち太陽が 100 入って来ても 0.7 しか出て来ない。こんなものではどうしようもないというので、ほとんど皆さんあきらめかけている状態が、大体 2005 年ぐらいまで続いていました。

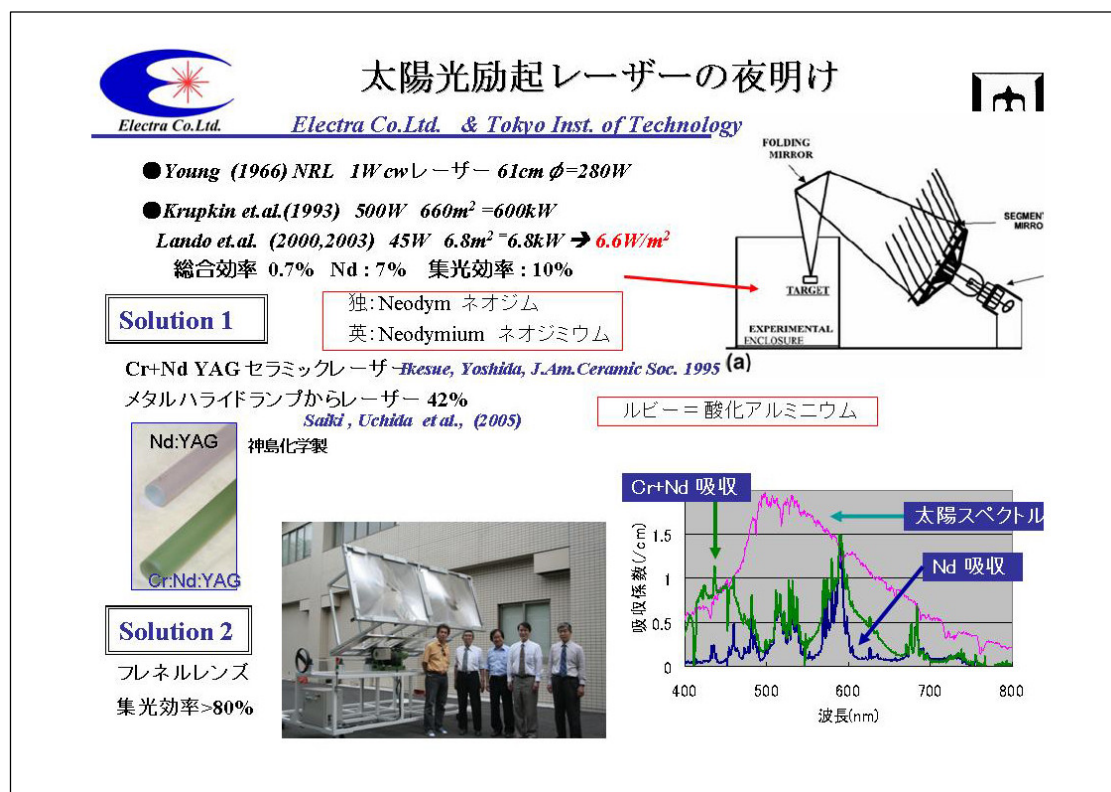


図-18

〈図-18〉 我々は少し変わっていますので変な事をやりました。効率が悪い原因は何だろうといういろいろ調べました。一つは、使っているレーザーが悪い。これはネオジウム・ヤグ・レーザーという難しい名前のものですが、ネオジウムと言うのは磁石の材料です。面白いのですがこれはドイツ語です。英語はネオジミウムと言います。レーザーの分野ではこれをネオジミウムと言って、磁石の分野ではネオジウムと、分野によって読み方が違うという困った現象があります。

実はこういう材料だけを使っているために、レーザーの効率が7%と非常に悪い。そこで我々はこれにクロミウムという物質を少し鼻薬、0.1%ぐらい入れてやると、途端に効率が良くなる事を実証しました。これは昔から言われています。レーザーは古く、昔から教科書に載っています。クロムを混ぜたら良いというのは判っていました。

ところがなぜ皆さんやって来なかったかと言うと、実は先ほど言ったヤグ (YAG) レーザーというレーザーの名前に由来します。Yはイットリウム、Aはアルミニウム、最後のGはガーネットで女の人が大好きな宝石です。すなわち、このヤグ・レーザーというのは、ほとんど宝石で、結晶成長で作っていきます。何十日もかけてじっと待つてるとようやく出来る。

そういうレーザーに、何かものを混ぜようとするのは大変な事で混ぜられない。その時、私たちのグループの吉田先生と言ういつも面白い事を考える人がいて、セラミックで作ろうと考えました。セラミックというのは焼き物です。粉を焼き固めて作れば、ひょっとしたらいろいろなものが混ぜられるかも知れないというのです。これはいろいろな人がやって失敗したのですが、吉田先生が今から12年ぐらい前に世界で初めて成功しました。これから日本の躍進が始まり、今こういうセラミックレーザーを作れるのは日本だけです。こういったセラミックレ

ーザーによって、今まで7%だったレーザーが何と42%にアップしました。これは素晴らしい事です。

フレネルレンズで出力アップ

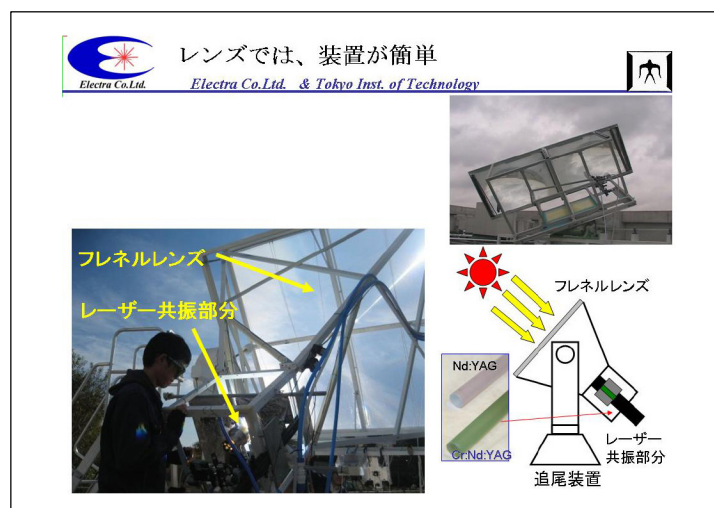
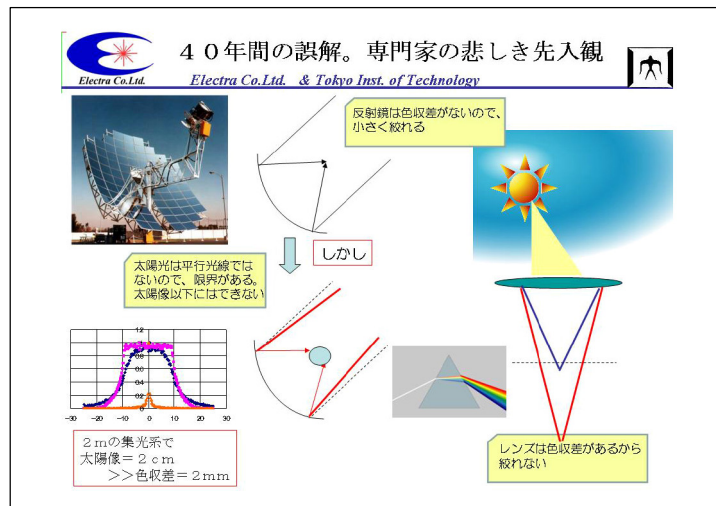


図-19

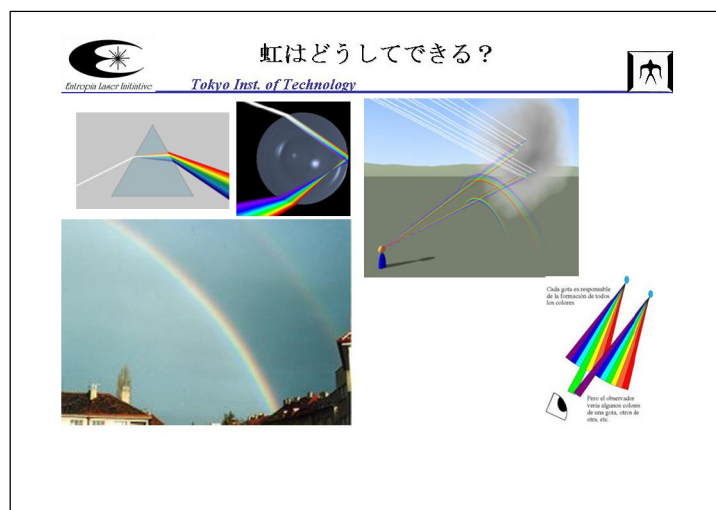
〈図-19〉 もう一つ問題点があります。皆さん太陽光と言うとばかの一つ覚えのように、反射鏡を使って集光して何かをやるといふ事ばかりやって来ました。太陽光は動いていますから、反射鏡は一生懸命太陽光を追尾します。しかしレーザーの方は止まっているものですから、なかなか当たらず、太陽光からレーザーの本体に到達する前に、今までの実験では90%ロスしていました。そのためにたった10%しか来なくてレーザーの効率が7%だと、0.7という掛け算は誰だって判ります。

レーザーは良くなった。しかし、これが10%ではどうしようもないというので、我々は今までの鏡ではなく、フレネルレンズというペラペラの薄いものを使った集光装置を試しました。我々、年をとってだんだん本が見えなくなると、よく読書用拡大鏡として、薄くて表面に輪が描いてあるプラスチックを使いますね。あれがフレネルレンズです。プラスチックレンズのオバケになったのが我々のレンズで、1m、2mぐらいの大きなフレネルレンズを用いて太陽光を絞ろうと考えました。

そうすると非常に大きな利点が出て来ます。すなわちレンズなので、太陽光とレンズの反対側に物が置ける事になります。レンズですから太陽光と反対側に集光します。それをする事により我々は集光効率を80%に上げる事が出来ました。何と8倍になったのです。たったこれだけのアイデアですが、これだけでこんなに良くなったという事がお分かりになると思います。

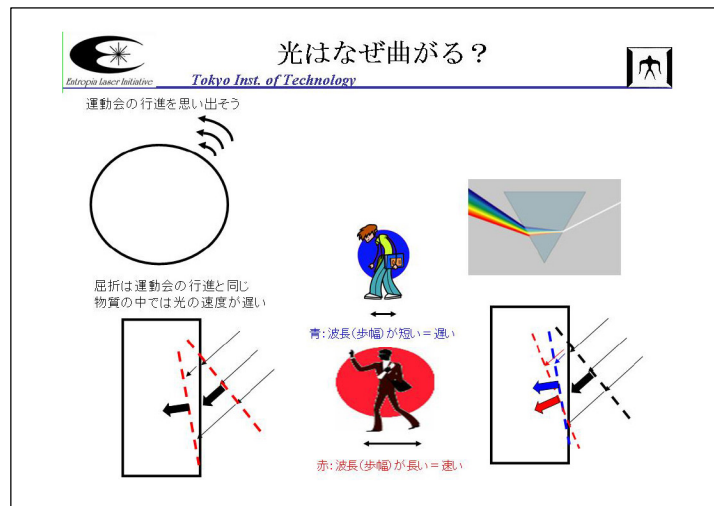


図－20



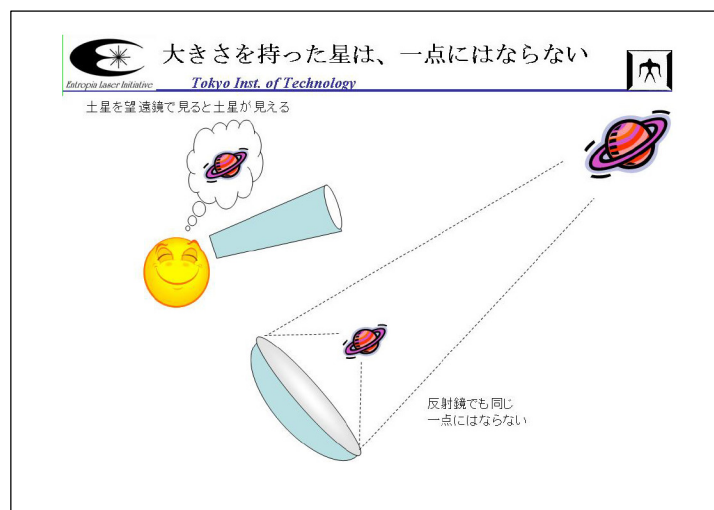
図－21

〈図－20〉 〈図－21〉 それではどうして皆さん、40年間もこういった反射鏡にこだわったのでしょうか。これこそエキスパートの悲しい先入観なのです。大抵の方が知っているプリズムがあります。プリズムに白色光が入って来ると虹の色に分かれます。小学校でも習いますが、これを色収差といいます。ガラスなどの媒質の中に入ると、色収差が現れるのが普通です。



図－22

〈図－22〉 普通のレンズはガラスです。ガラスの中を光が通ると、赤と青は違うところに焦点を結びます。こういった事があるために、ガラス等のレンズ系のものを用いるようなものは、太陽光には絶対に向かないと言うのが専門家の考え方です。鏡は媒質の中を通らずに反射するだけなので、すべての光は1点に集まるという誤解があるのです。



図－23

〈図－23〉 我々はいつも望遠鏡をのぞいています。望遠鏡で例えば土星を見ます。土星を見ると望遠鏡に土星のイメージが見えます。反射鏡でもそうです。反射鏡で土星を集めようとすると、1点にならずに土星の絵が現れます。ということは1点には絶対にならない。必ず太陽は太陽の像が現れるのです。

問題は、太陽の像はどれぐらいの大きさなのかというのを皆さん計算しないのです。例えば2mはそんなに大きくないですが、2mの反射鏡で太陽の像はどれぐらいになるかというと、なんと2cmになるのです。大きいです。では色収差はどれぐらいかというと、2mmしかないのです。そうすると全然、色収差など気にする必要はないのです。それなのに専門家は全然計算もしないで、はじめから「だめよ」と言われるのです。

私たちが実験を始めた当初、皆さんそうでした。あらゆるところからあなたたちは光を知らないと言われました。それぐらい専門家はレンズを使う事に対してアレルギーを起こします。我々は結構何でもやるタイプです。私はやろうと思ったら後先考えずに何でもやるタイプなので、それが成功したということです。

一つは、我々はお金がなかったというのが本当の理由で、50cm ぐらいのフレネルレンズは 5000 円を買えます。天体望遠鏡の壊れたものを持って来ると、すべてシステムが出来上がります。ですからほとんどお金のない人でも作れます。それでやったというのが本音ですが、それが結局、後で非常に良かった。

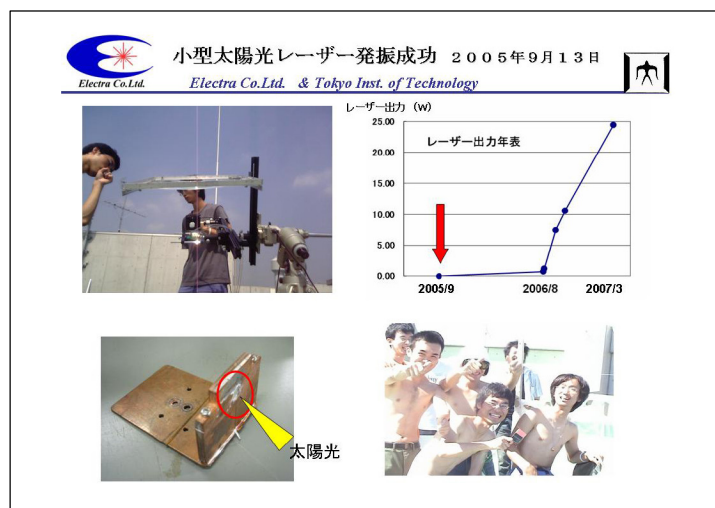
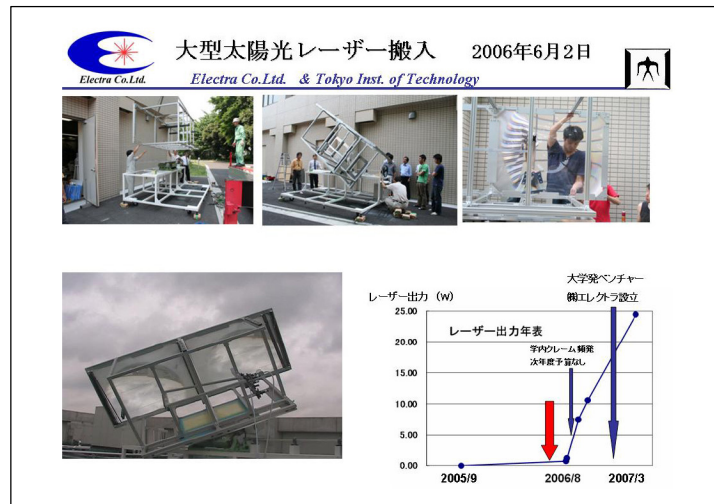


図-24

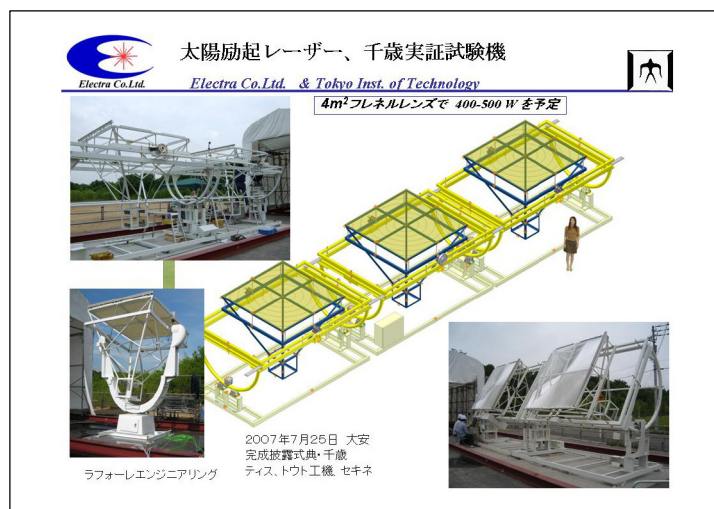
〈図-24〉 2005 年 9 月、今から 3 年ぐらい前に 50cm 角のフレネルレンズで我々はミリワット、1000 分の 1W ですからほんのわずかですが、我々はこの時にものすごく喜びました。そこでこれに勢いづいて、もう少し大きいものを作ろうというので、今度は 1m の大きさのものを作りました。この時は文部科学省からお金をもらい、大体 600 万ぐらいで作りました。これで最終的には 25W の出力のレーザーになりました。だから 1000 分の 1W から何と 1 年間で 25W まで行ったのです。



図ー25

〈図ー25〉 これもいろいろな話があります。実は文部科学省からお金をいただき装置を作ったのですが、3カ月間あまり出力が出ませんでした。大学からクレームが多発し、数百万のお金をあげたのに全然出ないではないかという事で、次年度の予算がカットされ、もう次は出ないという事を言い渡されました。何とかお金を集めないといけないという事で、我々は 2007 年 1 月に自分たちの資金でベンチャー企業を創りました。

仰々しく 2007 年 7 月 25 日に、北海道千歳市の空港のすぐ横なので飛行機から見えるところに、今度は 2m×2m の大きなレーザーを 3 基作りました。そこで我々は 80W の出力を出しました。ですから、わずか 2 年強でミリワットから 80W まで来たという事です。



図ー26

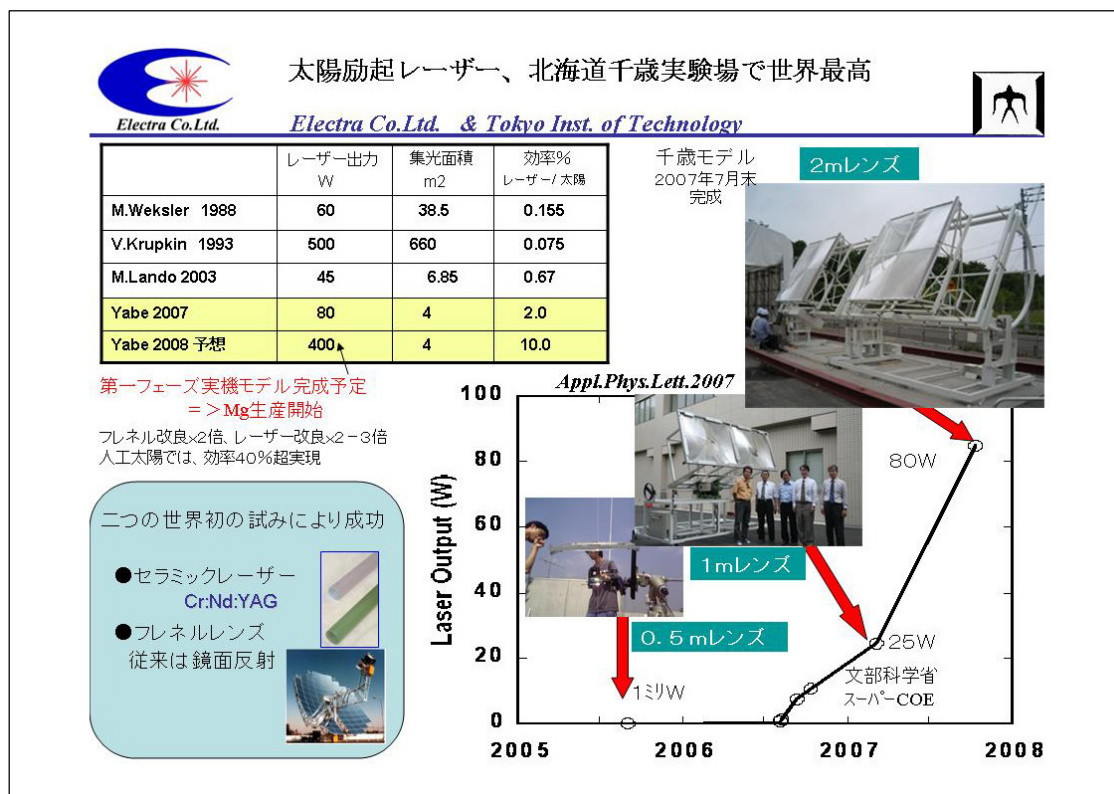


図-27

〈図-26〉 〈図-27〉 我々は4m²のレンズで80Wを実現しました。今年度中には400W近く行きたいと思っています。そこで注目していただきたいのは、実は今から相当前の1993年に海外で500Wのレーザーを太陽光から出しています。ところが、この時に使った鏡が何と660m²です。相当お金を使ったと思いますが660m²でやっと500Wを出した。ところが我々は4m²で400Wを出そうとしています。この効率は、何と入って来た太陽光の10%がたった一つの非常に細いレーザーで出ていくという事で、あちこちから注目され始めています。

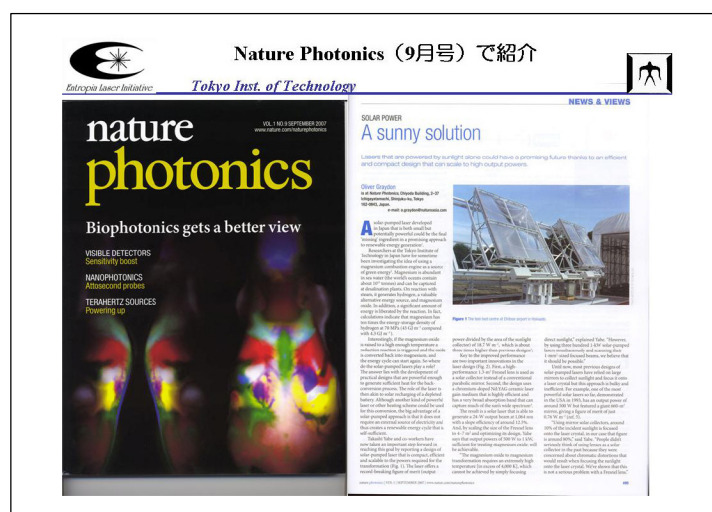


図-28

〈図-28〉 特に「ネイチャー」のフォトニクスという雑誌では、ソーラーパワー・サニーソ

リューションというお褒めの言葉をいただきました。サニーソリューションと言うのはダジャレに近いのですが、太陽光の sunny というのと、世の中が明るくなる方の sunny という二つをかけた名文句です。

太陽光によるレーザー精錬が産業構造を変える

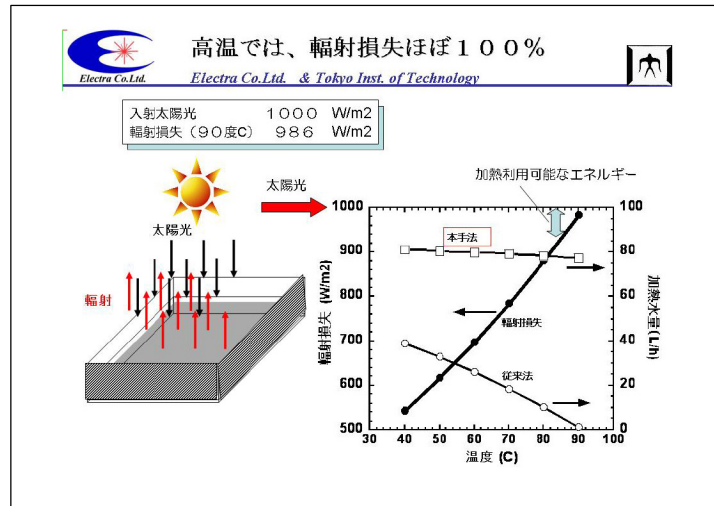


図-29

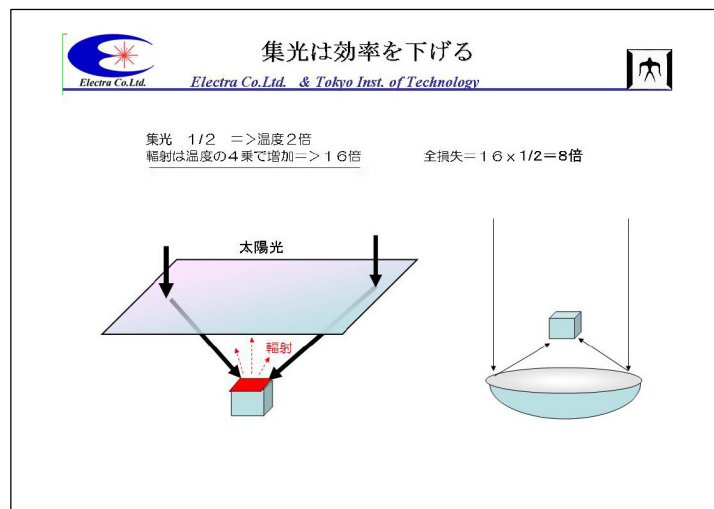
〈図-29〉 実は私たちはこれ以外にも太陽光を利用した淡水化装置を作っています。これは今までお話したレーザーとは完全に独立の技術です。ここで一つ面白い話をします。太陽光を利用する事にはまだいろいろ誤解があります。大事なことを見落としている人が沢山います。例えばガラスを張った箱があります。それは上面だけガラスが張ってあり、そこから太陽光が入って来るといように想像してください。

その中に水が張ってあります。そこに太陽光が入って来ると水は当然温かくなります。ところが水が温かくなると輻射というものが出て来ます。暖炉やたき火をしているのを見ていると熱いですがこれを輻射と言います。太陽自身からも燃えた光が地球まで到達して熱いのです。このように水温が高くなると、輻射でどんどん熱が逃げて行きます。問題はこの大きさがどれぐらいかという事で、だんだん温度を上げて 90°C になって来ると、輻射のエネルギーは 986W/m² になります。太陽光は 1000W/m² なので、90°C になると 1000 の太陽光が入って来て 986 出て行きますので、ほとんど太陽光を利用していません。このように輻射で温度が高くなると、どんどんエネルギーが逃げて行くという大変な現象が起こります。



図－30

〈図－30〉 レンズや反射鏡を使って太陽光を集光して、非常に高い温度を実現しようとしています。これは古代ギリシャの時代からあり、聖火式ではこのようにして聖火を太陽光から採っていました。あるいは今の太陽光発電も、アメリカやフランス、ドイツで似たような事をいろいろやっています。こういうものすべて太陽光をどこかに集中して、温度を高くしようということを一生懸命やっています。



図－31

〈図－31〉 ところが問題はここにあります。先ほど言ったように温度が高くなればなるほど、輻射は増えます。どれぐらい増えるのかと言うと、実は輻射は温度の4乗に比例して増加して行きます。という事は例えば太陽光を半分の大きさに集光すると、確かに温度は2倍になるかも知れませんが、温度が2倍になった分、温度の4乗で16倍輻射が増えます。そうすると何の意味もなくなります。高い温度を出そうとすればするほど、どんどん効率が悪くなって行きます。こういうジレンマがあり、輻射の呪縛からの解放をどうするかという事が問題になって来ます。

我々は実はこういった事をすべて解決する方法を見出したのですが、今日は時間がありません

るので、そういう話で逃げさせていただきます。特許に関わることで……。 (笑い)

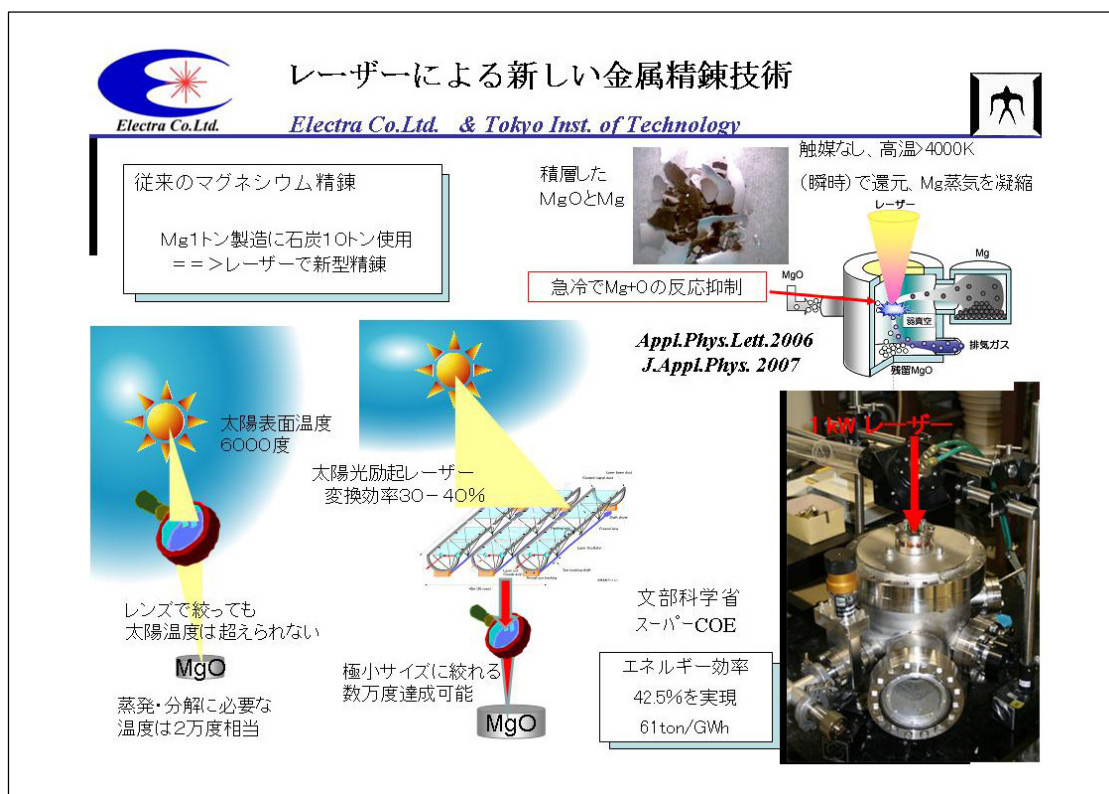


図-32

〈図-32〉 最終的に我々はいろいろな製品群を考えています。先ほどお話ししましたように、太陽光からレーザーを作り、マグネシウムを作ります。マグネシウムと言うのは非常に酸素と仲が良く何でもくっ付きたがりますので、マグネシウムが作れるのだったら、ほかの物質は何でも出来てしまうのです。アルミや鉄、銅、チタン、シリコンはみんな酸素とくっ付いています。これを全部はがして単体にする事が出来ます。これを我々は今からレーザー精錬という名前で呼んで行こうと思いますが、太陽光によるレーザー精錬が可能になって来れば、今の産業構造はおそらく全く変わって来るだろうと思います。

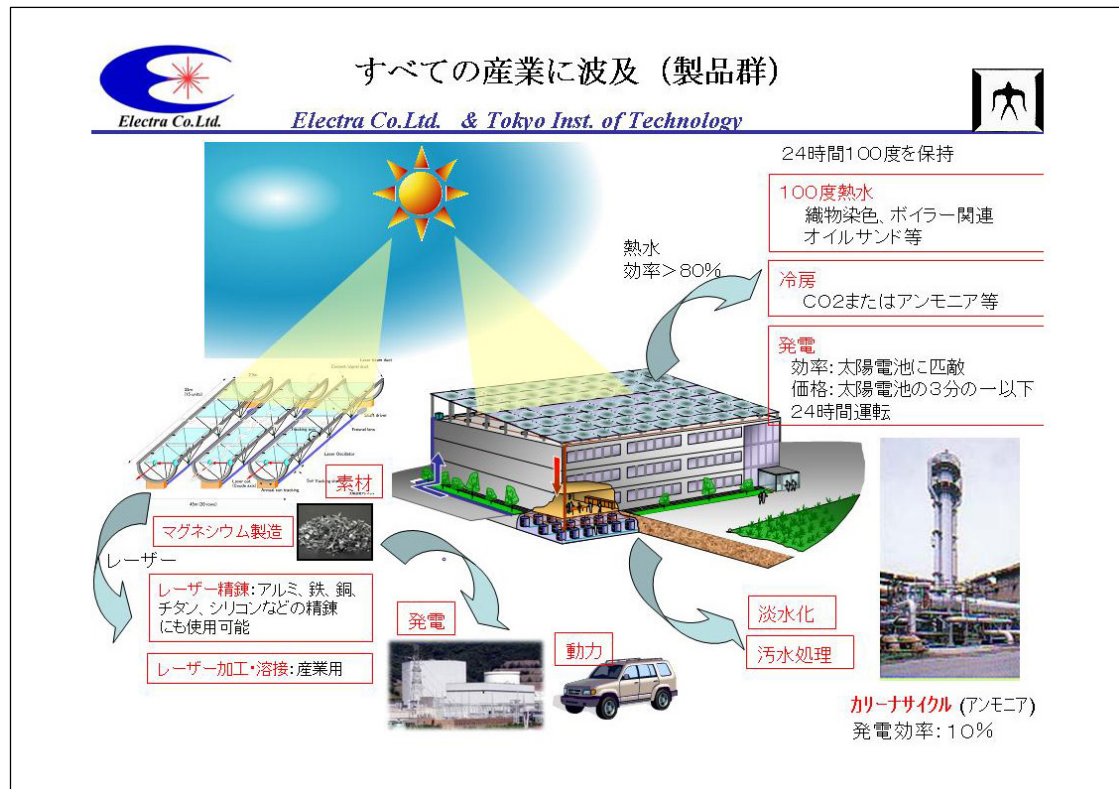


図-33

〈図-33〉 あるいは、そのマグネシウムを使い発電や動力も出来て来るでしょう。さらには今回、話を省略しましたが、我々は太陽光から大体 80%以上の効率で 100℃の温水を作る技術を開発しました。100℃の温水を 24 時間ためておく技術も開発しました。と言っても後者は私たちが開発したのではなく、パナソニックが開発した技術を使わせていただき、24 時間 100℃の温度を保つことが出来るようになりました。

そうなると世の中は変わります。例えばボイラーでいろいろ作る。服などを染色します。急速に染色しようとする、90℃くらいの温水で染色しなければいけない。そうすると非常に沢山の石炭・石油が要ります。あるいはオイルサンドと言って、砂の中にオイルが付いているようなものがあります。そのオイルを砂から引きはがすために、高温の温水をかけるという技術がありますが、そういった事にも使えます。だから 100℃の温水があればいろいろな事が出来て来ます。しかもこれが 24 時間使えるという事です。

それが出来ると、実は温水を使ってヒートパイプで冷房が出来るようになります。さらには発電も出来ます。温水で発電する技術は二十数年前から提案されていて、ある会社で作った例ですが、太陽電池の大体 3 分の 1 の価格で同じワット数の電気が作れるという技術はもうすでにあります。これを組み合わせると 24 時間温水が提供出来、温水で発電が出来るとなると、24 時間電気が提供出来る可能性が出て来ます。しかも価格は太陽電池の 3 分の 1 です。そうすると、太陽電池を選びますか？我々のシステムを選びますか？という選択を、1～2 年後に我々は迫ろうと思っています。ご期待下さい。

もし温水が出来ると、海水の淡水化がそのまま出来るようになります。汚水の処理も出来る

という事で、これらの装置を我々は販売を開始しました。現在、中東から注文が来ています。いずれ皆さんのお耳に入るところが出て来るかと思えます。

我々はロードマップをいろいろ考えており、水はすぐ作れる状況にきています。冒頭で言った30億人分の水をまず売ったとすると、年間大体150兆円ぐらいの市場になります。それを20年以内にしなければいけない。しかもマグネシウムの販売は1200兆円市場になって来ます。我々のベンチャー、小さい企業ですが、何とかこの市場を独占して行きたいという夢を持ちながら今やっているところです。ご清聴ありがとうございました。

〈MEMO〉

■このレポートは本田財団のホームページに掲載されております。

講演録を私的以外に使用される場合は、事前に当財団の許可を得て下さい。

発 行 所 **財団法人本田財団**

104-0028 東京都中央区八重洲2-6-20ホンダ八重洲ビル

Tel.03-3274-5125 Fax.03-3274-5103

<http://www.hondafoundation.jp>

発 行 者 原 田 洋 一