

# 自然エネルギーへの道と

## 3つの超伝導地球ネットワーク

科学技術振興事業団 北澤宏一

クリーンで豊かな地球を実現する唯一の方法が自然エネルギーへの道であることは誰もが納得できる。しかしながら、自然エネルギーコストが現在の電力コストの10倍もかかるのでは、その大規模な実現は難しい。本講義では太陽光発電や風力発電のコストを下げることのできる鍵が超伝導地球電力ネットワークであることを主張する。次に、エネルギー消費の3分の1を占める輸送部門において、炭酸ガス排出を避け、世界の人と物資の交流を盛んにすることのできる高速輸送手段としてリニアモーターカーによる地球ネットワークを提唱したい。最後に、未来の情報通信がエネルギー多消費型となる趨勢から脱却するために、消費電力が本質的に少なくて済む超伝導デバイスの高度集積化の実現を期待したいと思います。

超伝導はそのための技術を準備しつつあることを紹介します。21世紀の技術は、人類と地球との共生を可能にするためにこそ存在する。超伝導はその切り札になると考えます。

超伝導3つの超能力：

(アンダーライン部がここで提唱する地球ネットワークに使われる)

抵抗が完全にゼロ・永久電流が流れる

超遠距離無損失送電、電源不要の強力磁石

マイスナー効果(磁力線を排除)とピン止め効果(磁力線を捕捉)

安定磁気浮上、無摩擦回転

ジョセフソン効果と電子波のコヒーレンシー

超高速・超低消費電力電子素子、超高感度センサー

### 1. 超伝導地球電力ネットワーク

その第1は超伝導地球電力ネットワークです。世界の電力網を抵抗ゼロの超電導ケーブルで順次連繋していきます。砂漠など太陽の照る地帯、不毛な風の強い地帯、そして消費地、地球の東西・南北を繋いでいきます。

そうすると電力網にとっては昼夜がなくなり、夏冬がなくなります。晴天や雨も平均化されます。太陽や風力からの電力は、コスト高でお天気まかせ(間歇型)な点が最大の弱点でした。しかし、適地で発電すればコスト的に数倍も有利になります。太陽光資源も風力資源も世界的に見ると適地は偏在しています。そして、その近くに人は余



高温超伝導ケーブルの構造(住友電工)

り住んでいないのです。適地と消費地は数千 km から 1 万 km 程度離れています。

例えば、世界最大のサハラ砂漠の大きさは、そこで太陽電池発電をすると、世界の全エネルギー（電力だけでなく）を賄うに必要な 4 倍もあるのです（発電効率 10%として）。先進国の援助でサハラ砂漠に太陽電池工場を作り、その太陽光発電から得られるエネルギーとその砂から得られるシリコンだけを用いて、現地の工場で太陽電池を作っていきます。このように太陽電池をセルフ・ブリーディング（自己増殖）していくことも可能ではありません（サン・サハラ計画）。

現地に産業が生まれ、エネルギーがあれば砂漠周辺の緑化にも福音です。電力の余裕ができるにつれ、送電網をサハラから遠くに伸ばし、逆方向に水を輸送すればよいことになります。サハラだけでなく、各大陸にすべて広大な砂漠と乾燥地帯が分布しています。

極地や海岸地帯の風力から得られる電力もこのネットワークに載せるべきです。風力はコスト的には太陽電池よりも既に有利になってきています。しかし、風力発電機の稼働率は通常 1 割にも達しません。適地での発電が大切になる理由です。また、風の吹くところ吹かないところも地球上で平均化され、自然エネルギーの泣き所である「お天気まかせ」が完全に解消されます。超伝導遠距離送電がこれを可能にし、自然エネルギー時代をコスト的に可能にしてくれるはずです。

超伝導グローバル電力ネットワークのメリット：

自然エネルギーの効率を高めコストを下げる

1．最も有利な場所で発電できる

2．間歇的な自然エネルギーでも大丈夫（3倍のコスト有利性）

世界のどこかで照っている・どこかで風が吹いている・電力を使いたい人がいる 地球規模で平均化 電力貯蔵の必要が本質的に減る

直流送電：ロスが完全にゼロ（送電線での発熱が無い）

冷却ロスだけ 窒素液化機の配置少なくてよい

（現技術での見積：20 kmに1つ必要 液化機容量 200 kW）

1万キロで 500 台とすると冷却に必要な電力 10 万 kW

1 ケーブルで 100 万 kW 送るとすれば総電力の 10%ロスに相当。

比較：電気 化学、化学 電気エネルギー変換のロスは最低 3 割 水素など化学エネルギーとして変換・運搬して発電するとトータルで 5 割以上のロス

課題：ケーブルの臨界電流特性向上がまだ必要：100 万 kW 送電には現在性能の 13cm 径 3 相一括ケーブルが 8 本必要 当面数倍の高臨界電流化目標

そのための技術課題は高温超伝導物質の新規開発（より高い臨界温度、より高い臨界電流）が望ましいことはもちろんですが、現在発見されている高温超伝導物質のままでも、あと数倍の臨界電流の向上は可能と考えられており、ここ数年以内には一応の性能が達成されることは確実とみています。

## 2. 超伝導マグレブ地球ネットワーク

その第2は超伝導マグレブ(リニア・モーター・カー)地球ネットワークです。磁気浮上(マグレブ)列車はこれまでの鉄道と異なり非接触です。JR方式の超伝導磁気反発型マグレブでは、壁や床より10センチも離れて浮上して走ります。

レイル鉄道では車輪との接触が必要なため、安全性に問題がありました。レイルと車輪の間の接触は1点で、そこに応力が集中すること、また、接触点でレイルから車輪が外れないようにしなければならないという構造上の問題です。

マグレブは非接触で、いわば、磁力の拡がる空間全体が列車を支えています。隙間が数センチもあるために、レイルのずれがしょっちゅう起きる地震国でもメンテナンスが楽です。レイル鉄道の加速限界は時速270kmですが、これは実効的にレイルと車輪との間の摩擦力がゼロになってしまうからです。

マグレブの時速は限界がありません。むしろ、空気抵抗が速度とともに増大することから、現在、1気圧の空気圧力下では500km/h程度が省エネ速度と考えられています。(空気圧を下げたトンネル内では航空機1000km/hより速く走っても省エネ速度になる)

航空機に較べてのマグレブの魅力は省エネで炭酸ガスを出さないことです。また、重いものも運べること。食糧や機械など重量物交易の多い途上国間の輸送機関としても機能できます。また、航空機と違って沿

### レイル鉄道(接触型)

車輪(円)とレイル(直線)の接触

応力集中 材料に過酷な力 車輪事故

(例:ドイツ高速列車脱線転覆事故)

細心のmm単位のメンテナンス必要

さもないと脱輪事故

(例:中目黒地下鉄事故、国鉄鶴見事故)

時速270kmを越すと車輪とレイル

間のマサツがゼロに 加速できない

速度の限界(平均速度270km)

### 超伝導マグレブ(反発非接触型)

車上超伝導磁石(永久電流モードで駆動)

車上電力不要(照明とエアコンのみ)

車上超伝導磁石が地上コイルに誘起するファラ

デー誘導電流のために反発力 走っている限り

は浮かぶ。左右側壁コイルいずれかに近づくとそ

ちら側より大きな反発力(中心を進行するよう自

然にガイド) 浮上高さも走行方向もまったく調

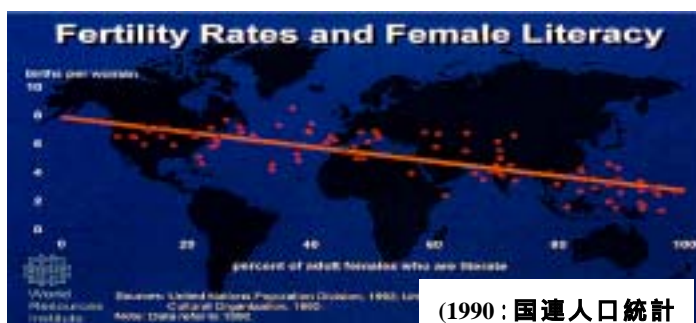
節不要 クリアランスは数センチ以上ある 高

い安全性

レイルに磁力で吸引して走行するマグレブ:くつつ

いてしまわないように精密制御必要、クリアラン

スは数mmしかない ドイツ型マグレブ



(1990:国連人口統計

局)

線があります。先進国の2地点を結ぶだけでなく、沿線の途上国の生活水準向上にも寄与します。シルクロードが欧州と中国を結んだ時代、その途上のオアシスが経済的に栄えたと同じ効果が期待できるのです。途上国の経済水準を上げない限り、人口爆発の危険を世界は有しています。マグレブ

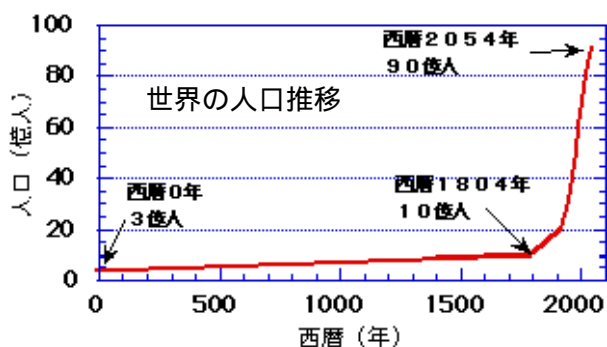
は航空機と違って世界の人口爆発をも押さえる役割を果たすと私は信じます。そのためには、女性の識字率を上げること、すなわち、一定程度の生活水準を築く必要があります。アラブ圏で生活水準が高いイランでは数年前に出生率が 2.0 を切りました。

日本の JR は 35 年もかけて独自の安全で省エネを誇る超伝導マグレブ技術を育て、2000 年には子供たちを多数試乗させるほどに技術レベルが完成に近づいてきました。

高速輸送機関のニーズが非常に高いことは、我国の最大貿易港として、すでにここ 20 年、成田空港がのし上がってきたことを考えても明らかです。マグレブが基幹交通網として整備されることは、トラックや航空機ではカバーできない高速輸送網を与えるだけでなく、省エネで排ガスのない輸送手段を与えるものです。いずれ、日本から欧州への「クリーンな旅」は、「敦煌（とんこう）辺りで途中下車」といったスタイルが流行するのではないのでしょうか。

一方、自然エネルギー時代には、太陽や風力から得た電力を用いて、水電解により水素を得、それで飛行機を飛ばします。そうすれば、成層圏に炭酸ガスを撒き散らさずに済みます。そして、自動車は、すべて、2 次電池（充電型）で走るようになれば良いのです。ガソリンスタンドに車が入ると、カセット式の電池があつという間に交換される。スタンドは電池の充電を自然電力で行う。これまで、電気自動車が普及しなかった理由の 1 つは「充電の煩わしさ」でした。電池は公共の持ち物という思想がなかったからです。

そのような時代がくれば、化石エネルギーを燃やしてしまうような無駄と、炭酸ガスの排出がなくなります。そして、原子力からの脱却も可能となります。



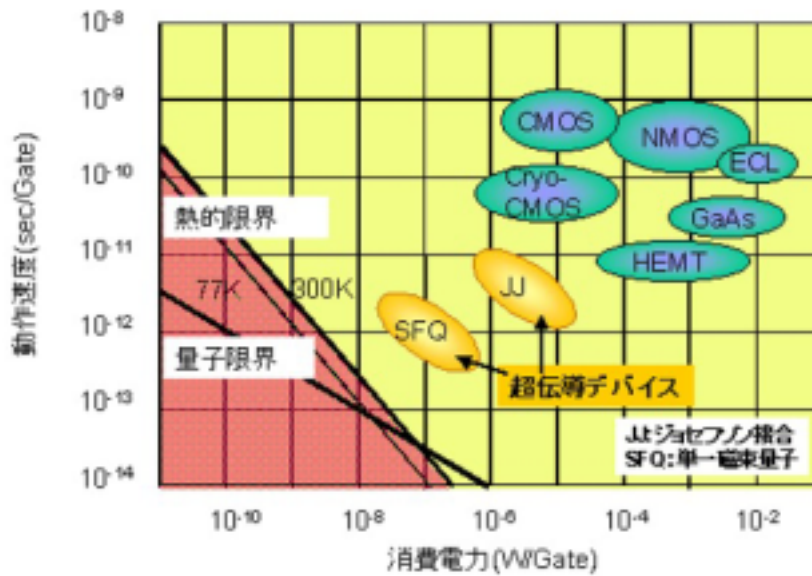
### 3. 超伝導通信・情報地球ネットワーク

情報の伝送コストは過去 10 年の間に千分の 1 以下に下がり、ここしばらくのうちにさらにその百分の 1 になると予想されています。情報革命がおきている証拠です。インターネット通信などに載って情報の行き交う量は（情報トラフィック）、1 年半ごとに 2 倍という急速な増大を示しています。

しかしながら、米国では IT の伸びが近い将来に全米の電力消費を倍増させるとする懸念も生じています。2001 年に電力危機が顕在化したカリフォルニア州では、電力消費の増大の背後に情報通信の拡大があるとされています。米国の全電力消費の 8% 程度はインターネット利用によるものという資産もなされています。我が国でも 2005 年には NTT だけの電力消費が国全体の 5% に達するとする試算がなされています。情報化社会は努力なしには決して省エネ社会ではないのです。

その理由は、素子の作動が高速化し、容量が大きくなるとその分だけ消費電力が大きくなるからです。したがって、今後の情報化社会を健全に進めていくためには、どうしても低消費電力でかつ高速な素子の開発が必須です。しかしながら、高速化と低消費電力化とは通常の半導体素子では相反する方向です。

高  
速  
化  
と  
低  
消  
費  
電  
力  
化  
と  
の  
両  
方  
の  
期  
待



超伝導素子の高速性と省エネルギー性

に  
応  
え  
る  
電  
子  
素  
子  
と  
し  
て  
注  
目  
さ  
れ  
て  
い  
た  
の  
が  
ジ  
ョ  
セ  
フ  
ソ  
ン  
素  
子  
( $JJ$ )  
で  
し  
た  
。し  
か  
し  
な  
が  
ら  
、  
こ  
れ  
ま  
で  
の  
研  
究  
の  
中  
で  
 $JJ$   
素  
子  
は  
高  
集  
積  
化  
に  
適  
し  
た  
技  
術  
に  
は  
つ  
な  
が  
り  
ま  
せ  
ん  
で  
し  
た  
。

そ  
の  
よ  
う  
な  
折  
、  
単  
一  
磁  
束  
量  
子  
( $SFQ$ )  
を  
情  
報  
単  
位  
と  
す  
る  
超  
伝  
導  
素  
子  
が  
東  
北  
大  
学  
の  
中  
嶋  
ら  
に  
よ  
り  
提  
案  
さ  
れ  
、  
最  
近  
で  
は  
、  
集  
積  
度  
も  
1  
万  
ゲ  
ー  
ト  
に  
達  
し  
ま  
し  
た  
。演  
算  
速  
度  
は  
半  
導  
体  
素  
子  
よ  
り  
2  
桁  
以  
上  
も  
速  
く  
、  
消  
費  
電  
力  
は  
3  
桁  
も  
小  
さ  
い  
こ  
と  
が  
NEC  
基  
礎  
研  
究  
所  
な  
ど  
の  
手  
に  
よ  
り  
上  
図  
の  
よ  
う  
に  
実  
証  
さ  
れ  
ま  
し  
た  
。こ  
の  
よ  
う  
な  
超  
伝  
導  
 $SFQ$   
集  
積  
回  
路  
の  
開  
発  
が  
国  
家  
プ  
ロ  
ジ  
ェ  
ク  
ト  
と  
し  
て  
こ  
の  
夏  
よ  
り  
開  
始  
さ  
れ  
る  
こ  
と  
と  
な  
り  
ま  
し  
た  
。一  
番  
の  
課  
題  
は  
半  
導  
体  
素  
子  
に  
匹  
敵  
す  
る  
高  
集  
積  
化  
を  
実  
現  
す  
る  
こ  
と  
で  
す  
が  
、  
当  
面  
の  
問  
題  
点  
は  
ジ  
ョ  
セ  
フ  
ソ  
ン  
接  
合  
に  
お  
け  
る  
臨  
界  
電  
流  
値  
の  
ば  
ら  
つき  
を  
ど  
れ  
だ  
け  
抑  
え  
ら  
れ  
る  
か  
と  
い  
う  
問  
題  
で  
す  
。ま  
た  
、  
こ  
の  
よ  
う  
な  
素  
子  
の  
作  
動  
の  
基  
本  
物  
理  
も  
良  
く  
理  
解  
さ  
れ  
て  
い  
る  
と  
は  
い  
え  
ま  
せ  
ん  
。

半  
導  
体  
集  
積  
回  
路  
の  
集  
積  
度  
は  
100  
メ  
ガ  
、 $10^8$ 、  
か  
ら  
1  
ギ  
ガ  
、 $10^9$ 、  
に  
達  
し  
て  
い  
ま  
す  
の  
で  
、  
当  
面  
の  
目  
標  
は  
現  
状  
の  
 $10^4$   
か  
ら  
の  
向  
上  
を  
目  
指  
し  
て  
、  
ま  
ず  
は  
次  
世  
代  
通  
信  
の  
主  
流  
と  
な  
る  
と  
目  
さ  
れ  
る  
ソ  
フ  
ト  
ウ  
ェ  
ア  
無  
線  
に  
お  
け  
る  
初  
段  
部  
分  
で  
あ  
る  
AD  
変  
換  
機  
な  
ど  
に  
使  
え  
る  
集  
積  
回  
路  
を  
目  
指  
そ  
う  
と  
し  
て  
い  
ま  
す  
。こ  
れ  
は  
超  
高  
速  
性  
が  
要  
求  
さ  
れ  
る  
か  
ら  
で  
す  
。

日  
本  
は  
、  
現  
在  
、  
超  
伝  
導  
ケ  
ー  
ブ  
ル  
、  
マ  
グ  
レ  
ブ  
、  
 $SFQ$   
素  
子  
の  
い  
ず  
れ  
の  
技  
術  
に  
お  
い  
て  
も  
世  
界  
を  
リ  
ー  
ド  
す  
る  
役  
割  
を  
果  
た  
し  
て  
い  
ま  
す  
。特  
に  
超  
伝  
導  
マ  
グ  
レ  
ブ  
は  
日  
本  
だ  
け  
の  
技  
術  
で  
あ  
り  
、  
完  
成  
度  
も  
高  
く  
な  
っ  
て  
き  
て  
い  
ま  
す  
。超  
伝  
導  
ケ  
ー  
ブ  
ル  
の  
通  
電  
試  
験  
も  
、  
世  
界  
に  
先  
駆  
け  
て  
横  
須  
賀  
の  
電  
力  
中  
央  
研  
究  
所  
で  
行  
わ  
れ  
て  
い  
ま  
す  
。数  
年  
後  
に  
は  
地  
球  
ネ  
ッ  
ト  
ワ  
ー  
ク  
と  
し  
て  
の  
ス  
タ  
ー  
ト  
ラ  
イ  
ン  
に  
つ  
く  
こ  
と  
も  
可  
能  
と  
考  
え  
ま  
す  
。

ク  
リ  
ー  
ン  
な  
エ  
ネ  
ル  
ギ  
ー  
の  
確  
保  
は  
、  
資  
源  
の  
リ  
サ  
イ  
ク  
ル  
に  
と  
つ  
て  
も  
必  
須  
の  
条  
件  
で  
す  
。20  
世  
型  
の  
「大  
量  
生  
産  
・大  
量  
消  
費」  
文  
明  
が  
も  
た  
ら  
し  
た  
地  
球  
の  
危  
機  
を  
救  
う  
こ  
の  
ど  
き  
の  
技  
術  
を  
、  
子  
供  
た  
ち  
の  
た  
め  
に  
も  
、  
私  
た  
ち  
は  
育  
て  
て  
い  
く  
責  
務  
が  
あ  
る  
と  
考  
え  
ま  
す  
。