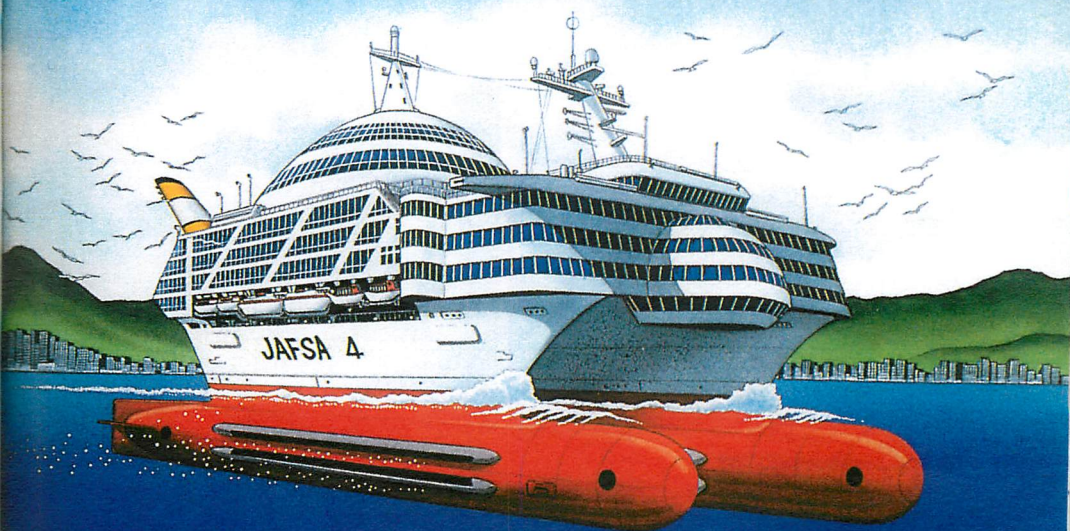
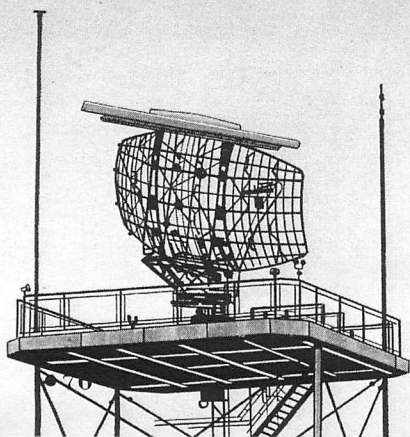
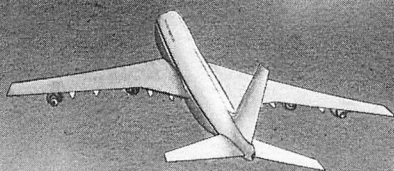


第2章

スクリューのない快速船



—1987年11月、成田
新東京国際空港……



だって——
今度 キムが日本にきたのは
先端企業の見学やリニアの
試乗……つまり

超電導の取材
なんでしょ……!?

TELでは話さな
かったけど
アタシも同じ
取材中……!

ウッソー!?

だから ずっと——
公私ともにいっしょに
いられるってこと!

リニアモーターカーの
取材はほぼ終わって
いるから……

……アタシの
ほうは
すでに——

……資料の
提供をして
くれる……!?

やったー!!

——そのぶん
観光の時間が
増えるもん!

でも……

助かるウ!

……“船”の取材が
まだまるまる
残っているのよ!

船?

……電磁推進船
つまり——超電導を
利用して走る船よ!

まっかせなさい
それならアタシのほうが
協力できるネタを
持ってきたわ……!

ホテル・プラトン

なにしろワンルーム
マンションだから
狭いのよね……

ウサギ小屋
……ね!

……アタシの部屋に
泊めてあげたいん
だけど——

……ハッキリ
ほんとうのことを
いってくれるわネ

TOSHIBAの
TV……!

コム違反事件*の
主役の会社のね!

え?

……もし船に
スクリューが
なかったら——

TOSHIBAも
ピンチになら
なかったかも!

——船からスクリューを
取ったら どうなるか
——“超電導船”になる

*「東芝の子会社・東芝機械がソ連に輸出した大型工作機によって、ソ連の潜水艦のスクリュー音が消えた。これはコム違反だ」と、米側から糾弾された事件。

順子……

1978年 フロリダ沖に
ソ連の潜水艦が故障して
浮上した事件——
覚えていない？

……「ヴィクターIII型」

——これが
超電導潜水艦
だというわけ……!?

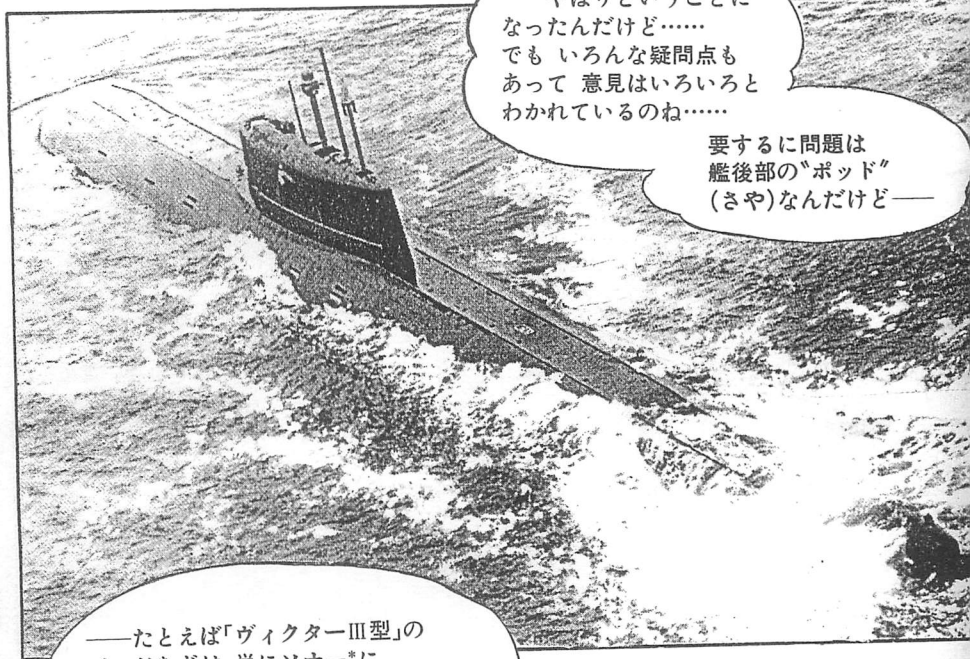
……これは
今までにない
変わったスタイルだ

……とすれば
超電導を利用した
スクリューのない電磁
推進実験艦の可能性が
大きい……！

……とウチ(ジューン
年鑑*)のジョン・
ムーア編集長が

この1985年版で
大胆な仮説を発表
しているのよね！

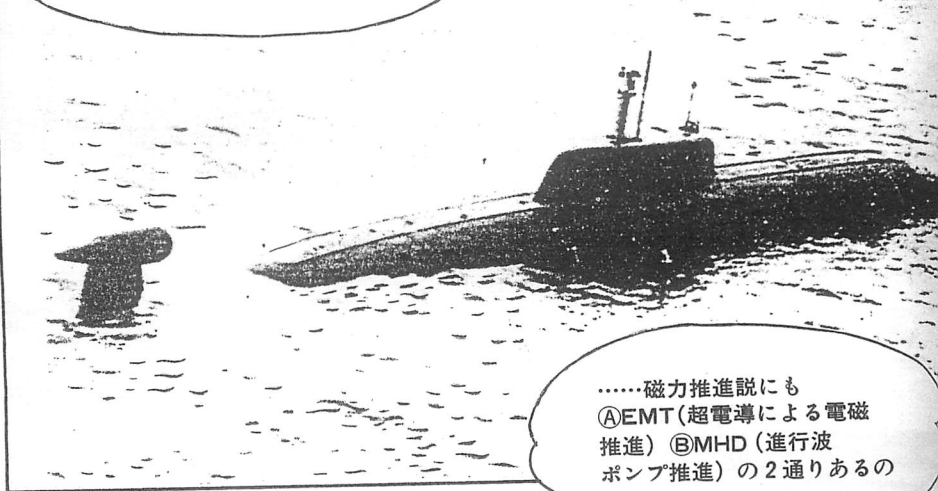
その後もアメリカ海軍の
スパイ衛星やNATOの
情報網によって何隻かの
同型潜水艦の存在が
わかって——



——やはりということに
なったんだけど……
でも いろんな疑問点も
あって 意見はいろいろと
わかれているのね……

要するに問題は
艦後部の“ポッド”
(さや)なんだけど——

——たとえば「ヴィクターⅢ型」の
ポッドなどは 単にソナー*に
すぎないんじゃないかという説ね
……ソナーはふつう 前部にあるんだけど
スクリューの騒音から遠ざけるためや
2点にあれば より正確なターゲットの
位置測定ができるわけだから……



……磁力推進説にも
①EMT(超電導による電磁
推進) ②MHD(進行波
ポンプ推進)の2通りあるの

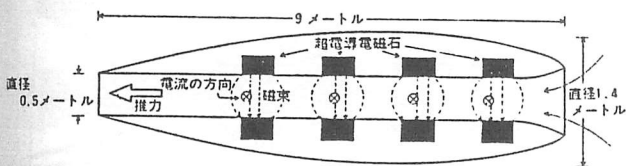
*海中にひそむ潜水艦からの距離や方位を音波によって測る装置。

……進行波
ポンプ推進？

——磁性流体を
内壁面に使った
筒の中に海水を
通し……

——その蠕動で
海水を後方へ噴出
して推進する……

——イカのポンプの
ようなものですよって

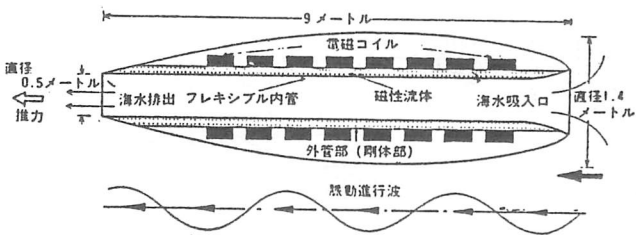


● EMTの想像図(左)

船の両舷側においた電極の列で海中に電流を流し、船内の電磁石でそれに直交する磁束をつくれば、船は軸方向に進む。超電導マグネットにより、きわめて大きな磁束が効率的に得られ、「海のリニアモーターカー」と呼ばれる。構造が簡単にメンテナンスも楽。

● MHDの想像図(右)

二重になった管壁の内部に磁性流体が充填されているが、管壁の回りの電磁コイルに適当な位相の電流を流し、管壁を蠕動させる仕組み。吸入口から流入した海水は吐き出し口から送り出される。ソ連は1972年に船体と海水の間に生じる渦流をなくし抵抗を少なくするための境界制御の特許を出願し、MHDの研究を進めていると見られる。



もっとも まだ これにも
疑問の声があるのよね

——MHDの場合
何十気圧の海中で
キチンと蠕動運動……
ウネウネしてくれるのか？

蠕動運動の末に
直径0.5メートルの穴から
毎秒45立方メートルの水を
押し出して 無音を
保てるのか……？

EMTの場合——

ヴィクターⅢ型チタニウム*製
6000トンの船体を
海中4メートルで航行させる
推進力は約50馬力
効率50パーセントとしても
100馬力は必要……

……この50馬力の推進力の基となる
超電導磁石をポッドの中に収め
これを絶対零度にまで冷却しないと
いけないし——噴射される海水
(電気分解された酸素と水素と
塩素ガス)は海面上で気泡入りの
航跡になるのではないか……？

——これだけ大きな
電磁石を入れれば
その漏洩磁気は相当な
ものになるはずetc.……

“アクラ”なんか全長約
100メートルのうち 司令塔
部分が30メートル近くもあるから
この中に電磁推進装置が……

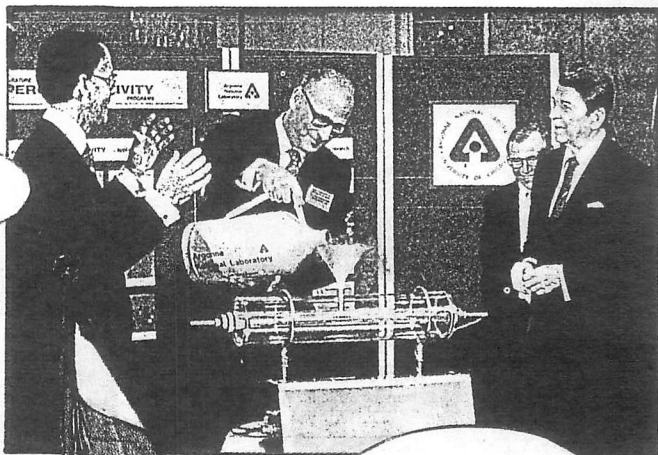
なんていわれたわけだけど司令塔のような
突起部が大きければ大きいほど
抵抗も大きくなるし 敵手の
ソナーに見つかりやすくなるという
デメリットがありすぎて 果たして……!?

——要するに まだ
なにもわかつちやいない
ということなの……!

だからこそ——
レーガン大統領が
目の色を変えて超電導
開発指令を出したの
よね……!

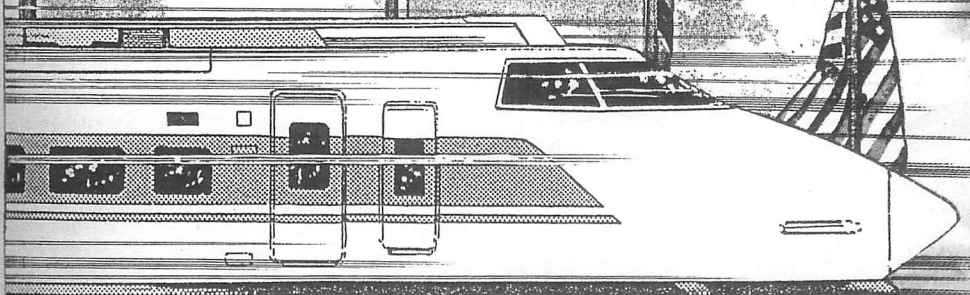
つまり—
アメリカやソビエトの
超電導研究は軍事
利用目的という色彩が
強いんだ……！

やーね



—じゃ キム
明日はいっしょに
京都へ……今夜は
ゆっくりおやすみなさい！

国立京都国際会館



ここは？



この夏低温物理学国際
会議が開かれたところよ
会議は高温超電導フィー
バー批判……つてムード
だったそうよ

*軽くて強く、耐食性のあることから鉄、銅、アルミに次ぐ第4の金属と言われる金属。

チタン合金は鉄の約2倍の引っ張り強度をもつ。



世界的にもっと
現実的になろうと
いう流れなんだ

高温競争より
——理論的
分析や実用化を
ってわけね

期待していた
室温超電導体は登場
しなかったし……

……で 順子
これからどう
するの？

——神戸へ
いくわ……



神戸商船大学に
もっとも早くから「船」の
実験を始めてらした
方がいるの……

……極低温実験室
物理学教授 理学博士
佐治良郎^{さじりょう}センセイ！



——キャンパスに船が飾ってある！

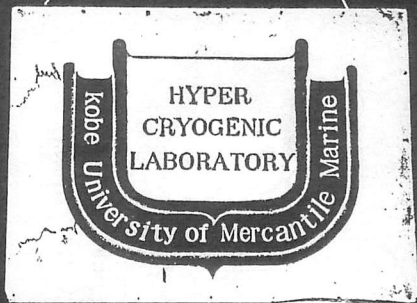
……あれが超電導船!?

……ちがうんじゃない？

——ここが極低温実験室！

——外側の部分が液体チッ素 中の部分が液体ヘリウムでその間が真空断熱材……

……これがそのマーク



……私が授業中に思いついてプロのデザイナーに依頼したんですが……なにヒントは魔法ピンですよ！

しかもそれが“船”の形になっている……！

佐治教授ってデザイナーの才能もあるんだ！

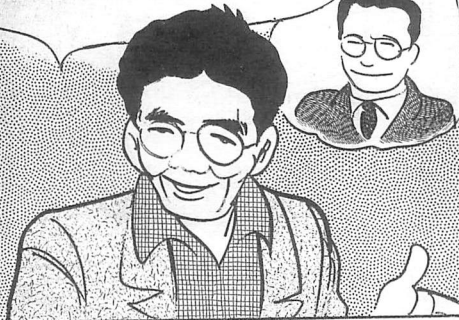
うーん

——それじゃ中をご案内しながら説明しましょうか……

—私がここへきたのは
昭和40年でして そのまえば

- 大阪市立大学の奥田教授の下で液体ヘリウムの研究をしていた。
- 神商大では一般教養で物理を教える。
- 43年 自力でヘリウム液化機を作る。普通、液化機は膨張エンジンを使うが、これは代わりに液体水素を使うカスケード型。一時間に2リットルつくれる（当時、1リットル約1万円、アメリカから輸入していた）。

……45~46年ごろ 私の親戚筋にあたる川崎重工業技術研究所の岩田章氏がよく遊びに来て“電磁推進船”はおもしろそうだと……



動いたとしたら—電流をたくさん流したことになりますが……自動車用のバッテリーを数個使ったぐらいではそれもあやしい

●ヘリウム圧縮機

……それで
いよいよ研究を
始められた!?

幸運にも……
ウエスチングハウス社
S・ウェイ博士の
論文*にすぐに
ぶつかりまして……

それによりますと 実験は
昭和41年に 長さ3メートル
ほどの船で 常電導を使って
動いた——とありました

数百ガウスの常電導
マグネットじゃ動くはずが
ないんです……!

—問題点は常電導……
私は超電導をやっていたから
すぐにピンときたんです……
超電導を使って—から設計
しなおしてやってみたら
どうなるか?

*特許は、それより前1961年（昭和36年）、アメリカのW・A・ライスがとっている

……で スタートとなったんですが
それにはまず ちゃんとした装置
(ヘリウム液化) と施設 (300メートル
以内に人家があつてはいけない*)が
必要ということになり 文部省に
かけあいました……
そして昭和50年——

●これが、その液体ヘリウムを
貯めておく「魔法ビン」だ。

250リットル (1リットル=
2000円。つまり、これで50万
円!) 入る。

——ついに入れてもらったの
ですが 当時は東大など
一部の大学にしかなか
ったから……

ここのような単科大学に入つたと
わかると他の大学から
「え なんで!？」という声
があつたものです……

……液体ヘリウムは
超流動性があるために
すぐに抜けたり クエンチで
蒸発したり……とても扱い
にくいんです

……ということは常時
実験で使う5倍の
ヘリウムを用意して
おかなければ
いけない……

大変なん
ですね……

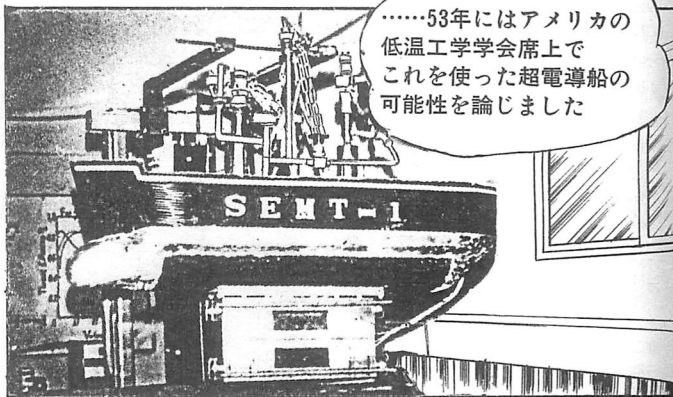
——実験中にリード線が
切れただけでも 全部抜いて
常温にし 修理して再び
ヘリウムをつめないだめ……

……しかし われわれは
なんとかグワンバッテ
昭和52年 ついに「SEMD-1」
を完成したのだよ……!

*責任ガス取締法により決められている。

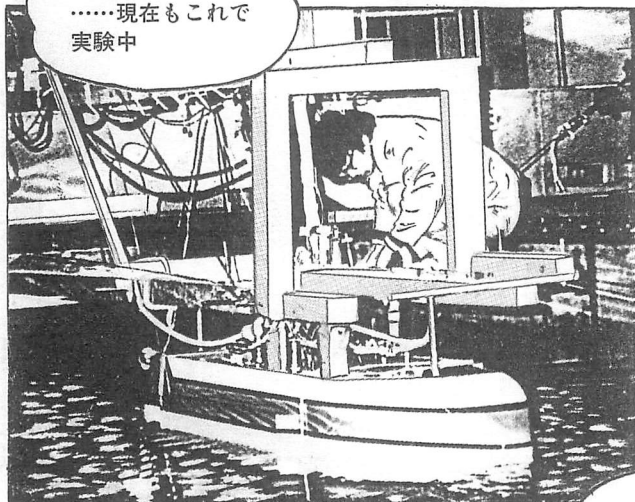
● SEMD-1
 (写真ではSEMTと
 なっているが同名の
 会社がありまぎらわ
 しいのでSEMD*に変
 えた……)

重量 約60キログラム
 推力 5グラムほど



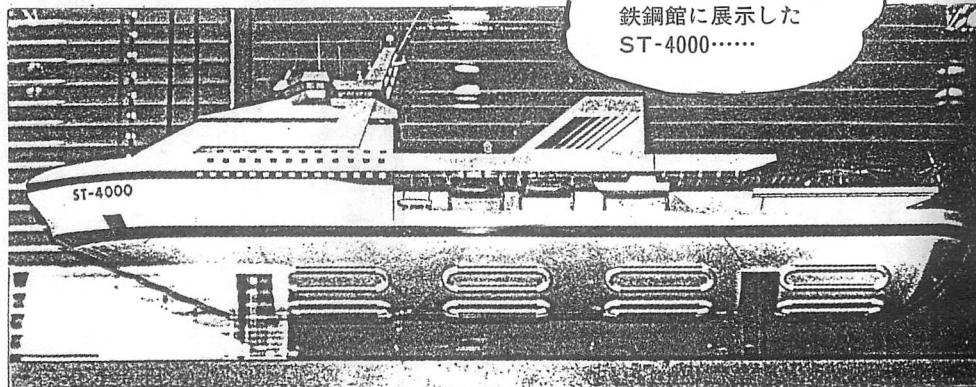
……53年にはアメリカの
 低温工学会席上で
 これを使った超電導船の
 可能性を論じました

続いて55年——
 ST-500を完成
 ……現在もこれで
 実験中



●その当時の実験風景
 水槽は長さ60メートル、
 深さ1.5メートル、「塩を
 20トンほど買ってきて
 水に溶かして海水をつ
 くった……溶けるのに
 3日ぐらいかかりまし
 た。水槽が鉄製だった
 ので、吸い寄せられな
 いよう木枠をガードレ
 ールにして前後にだけ
 動くように位置設定を
 しています……」
 ……重さ750キログラム
 推力15ニュートン、速度
 0.6メートル/秒

——これが筑波万博の
 鉄鋼館に展示した
 ST-4000……



*Superconducting Electro-Magnetic Drive.

……そして昭和60年
国鉄(現JR)の
京山さんから
電話があって——

日本造船振興財団と
協力していくことにな
ったのです……

京山好泰さんなら
存じてますわ!

この間 リニア
モーターカーの
取材でお会い
しましたから!

……そういえば
京山さん
磁力推進船も火つけ役を
したって……

——協力するのは
技術です……

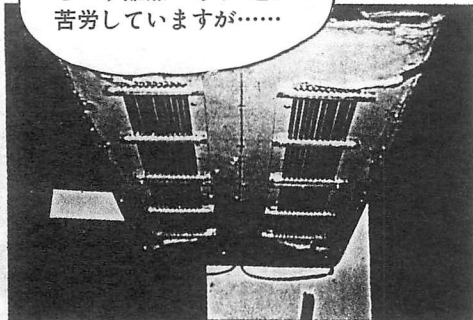
……資金的にも
ここじゃ実船実験は
不可能ですからね

それに——ウチでは
“外磁場方式”を採用
していますが 筑波研究所
(日本造船振興財団)は
“内磁場方式”でやって
いるんです……

“内磁場方式”は軽量化の
ためサドル形の
マグネットをつくらなければ
いけないのですが
これが非常に難しいうえに
値段も高い!

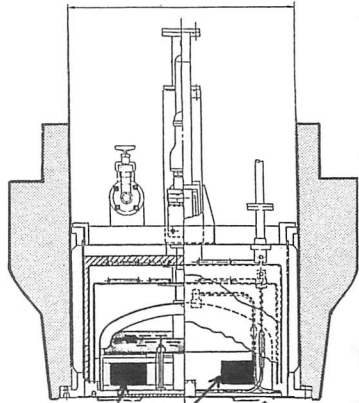
“外磁場方式”の
メリットは安くできる
ことなんです……

……しかし“外磁場”にも磁気が過大に洩れると船底に鉄粉がついたりという難点があり 遮蔽に苦勞していますが……



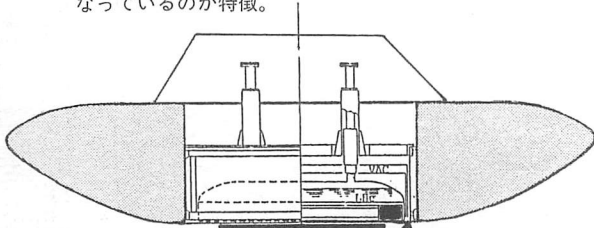
船底に出ている電極

●“外磁場方式”推進装置



超電導コイル(磁石) 電極

●外磁場方式は電極が外にムキダシになっているのが特徴。



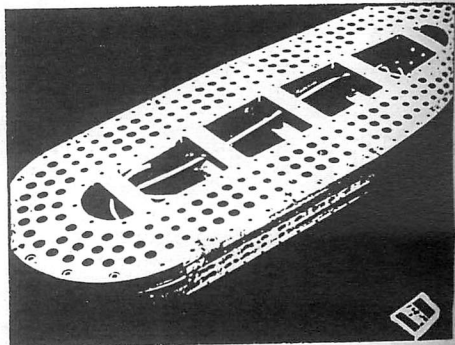
電極 テフロンでおおった底板

●コイル線材は、外径約40ミクロンの細いニオブ・チタン系超電導線360本を銅で固めて外径1.8ミリに成形してある(一般に安定化多芯超電導線と呼ばれる)。このコイルに420アンペアの電流を流すことができ、その時のコイル内部の最高磁場は5万1000 Gaussとなる。

(設計は川崎重工業)

●これが超電導マグネット

楕円状にコイルが巻いてあり、上面や周囲は耐腐食のステンレスでおおってある。小さな丸い穴をたくさんあけて、液体ヘリウムがまんべんなく入っている。



ええ……電流が流れると
マグネットに力が加わるので
その力を支える構造材は
軽くて強いモノが必要になる
んです……

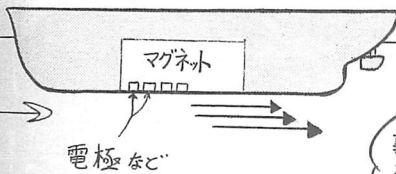


このときの磁場の中を
運動する荷電粒子に
働く力を“ローレンツカ”と
いうのです

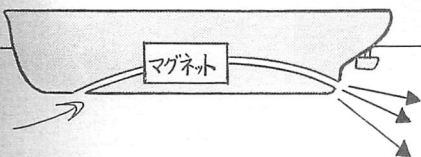
——また
“クエンチ”と
いうのは……

左右で電気の流れる方向が異なってしまうので、マグネットのコイルが閉まっても動く。磁場が強いところだと、ローレンツカに逆らって動くので熱が発生し、液体ヘリウムがアツというまに蒸発してしまい、臨界温度をこえて常電導になってしまう。これが“クエンチ”である——。

——要するに
“外磁場方式”は電極や
磁石が外へ向いていて
外の水に流れをつくって
動くのだし……



……“内磁場方式”は
水を管の中に入れて
吹き出して進むのです



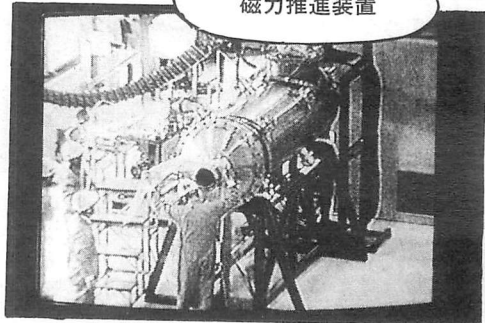
では ついでに——
筑波研究所から
送ってきたビデオを
見ながら……



“内磁場方式”も
説明してしまい
ましょうか……

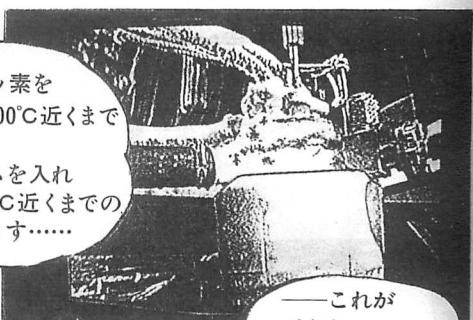
裏ビデオじゃ
ないわよ……!

——これが
磁力推進装置



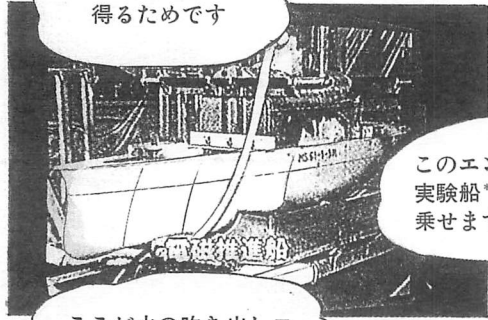


—液体チッ素を
注入して -200°C 近くまで
冷やした後
液体ヘリウムを入れ
さらに -270°C 近くまでの
極低温にします……

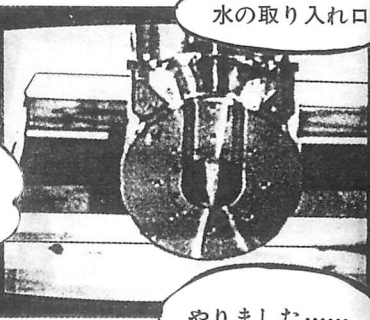


—これが
ダクト……
水の取り入れ口

……超電導を
得るためです

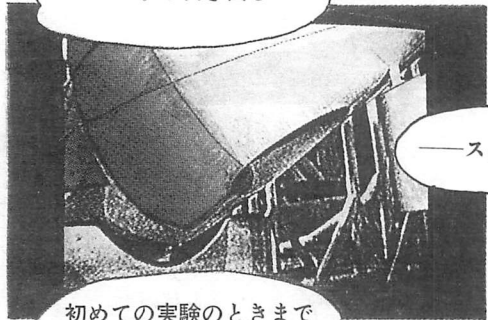


このエンジンを
実験船*に
乗せます……

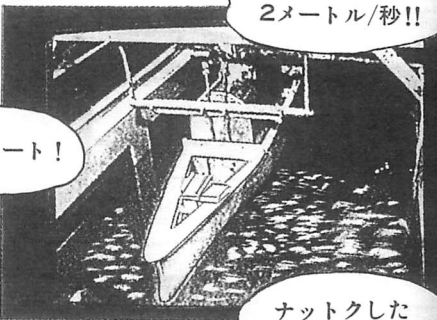


やりました……
2メートル/秒!!

ここが水の吹き出し口



—スタート!

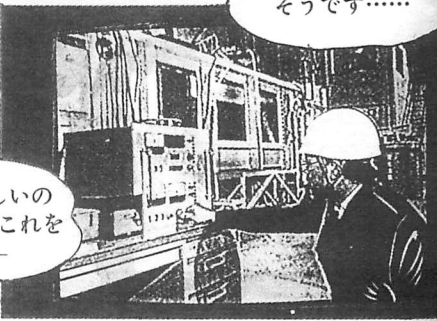


ナットクした
そうです……

初めての実験のときまで
ホントカイナと
思っていた研究員も



いたらしいの
ですが これを
見て——



……正極・負極ともに
タンをベースに
表面は白金メッキです

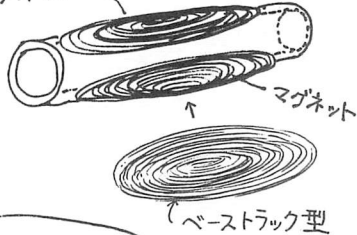
これをマグネットの
中にさしこみ
その間を流れる水に
電流を流し——

フレミングの左手の
法則」で力を出す……

実験で使った
マグネットは約160
キログラム
船全体は220~230
キログラム……

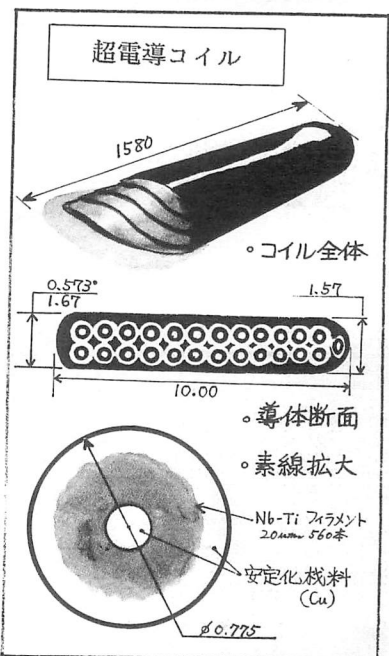
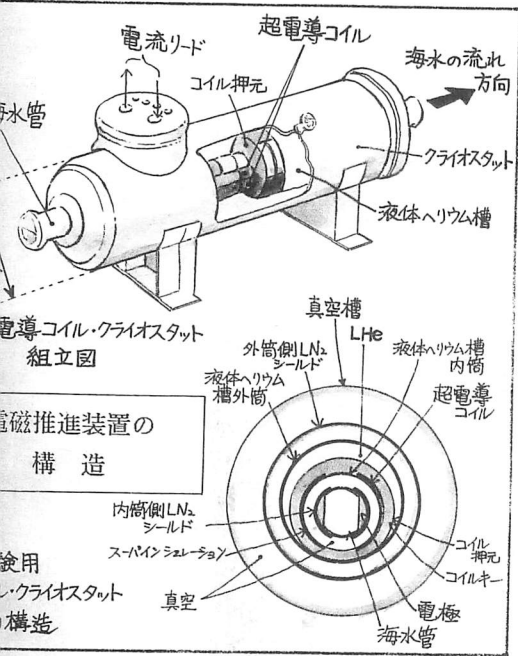
またマグネットで
垂直方向に磁場を
つくって——

マグネット



ア……アタシたちも
ナットク……どうも
ありがとう
ございました……

ホントカイナ!?



—電磁推進装置の模型が、東京虎ノ門の日本造船振興財団・超電導電磁推進船開発推進室に作られていた。右が、その仕様だ。この模型では、6本のダクトが使われている（下の写真参照）。筑波研究所での実験段階では、ダクトの壁による抵抗を減らすとか、様々な改良を加えていく。

超電導電磁推進船

実験船用コイル・クライオスタット 1/6モデル

コイル形状 : ダイポール型
 ダクト内径 : 260mm ϕ
 クライオスタット外径 : 1800mm ϕ
 クライオスタット長 : 4500mm

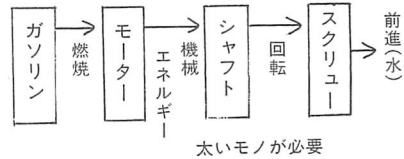
製作 株式会社 東芝

●従来船（スクリュー式）とのちがい [スクリュー船]

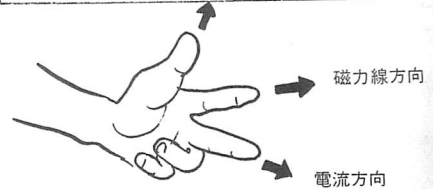
エネルギーを機械エネルギーに変換して水を後方に押し船を進める。

[電磁推進船]

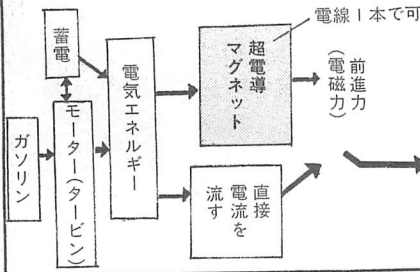
エネルギーを電気エネルギーからさらに電磁力に変換し、直接、電磁流体力により水を後方に押し船を前に進める。



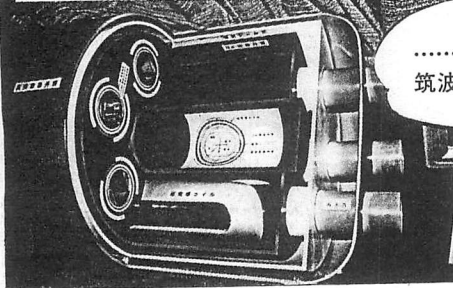
フレミングの左手の法則



電流を中指方向、磁力線を入差し指方向に流すと、親指方向に力が生じる……。



東芝製の超電導電磁推進装置の模型



日本造船振興財団
筑波研究所

ワア
佐治教授の
おっしゃるとおり

ホント——こっちは
グッとリッチ!!

……日本造船振興財団
超電導電磁推進船
開発研究委員長の笹川陽平氏は
こういっています……

……ウチのオヤジ（日本
船舶振興会会長笹川良一氏）
にきいたんですが 日本の
オリジナルエンジンは1種類
しかない……！

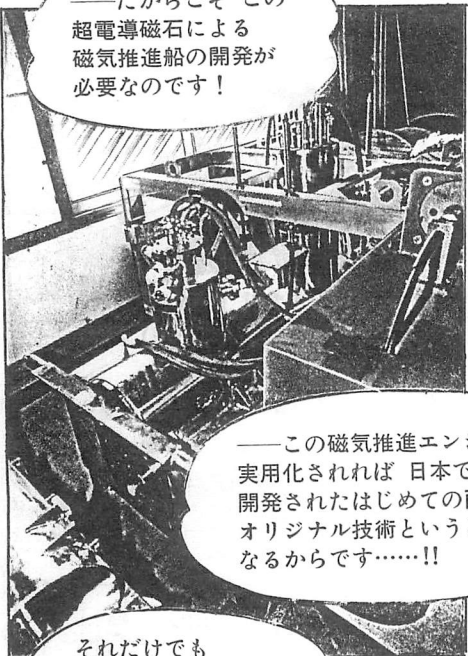
これは驚くべき事実で
造船業が今日 世界の半分の
シェアを占めているにもかかわらず
いちばん大切なエンジンは

いまでも毎年約70億円の
ライセンス料を外国に
支払っており……このため
赤字に苦しんでいるのです……

つまり——船殻工事では
世界一でも 主力エンジンは
外国製……では もうやって
いけないということです

たった半年で韓国に
追いつかれたことは
本来的なこの技術が日本に
存在しなかったことに
よるのです

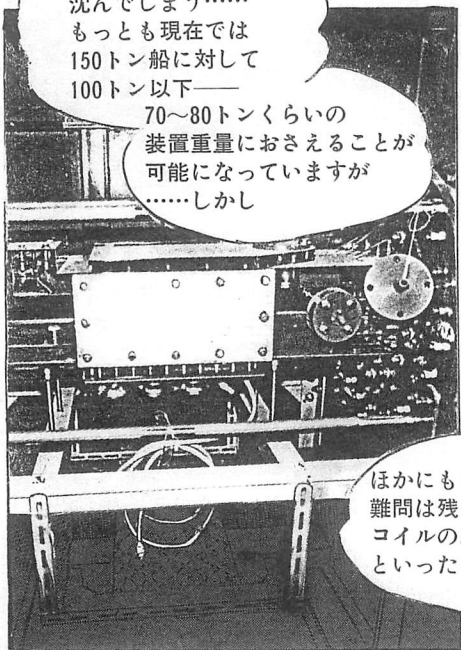
—だからこそ この
超電導磁石による
磁気推進船の開発が
必要なのです！



—この磁気推進エンジンが
実用化されれば 日本で
開発されたはじめての画期的な
オリジナル技術ということに
なるからです……!!

それだけでも
沈んでしまう……
もっとも現在では
150トン船に対して
100トン以下—

70~80トンくらいの
装置重量におさえることが
可能になっていますが
……しかし



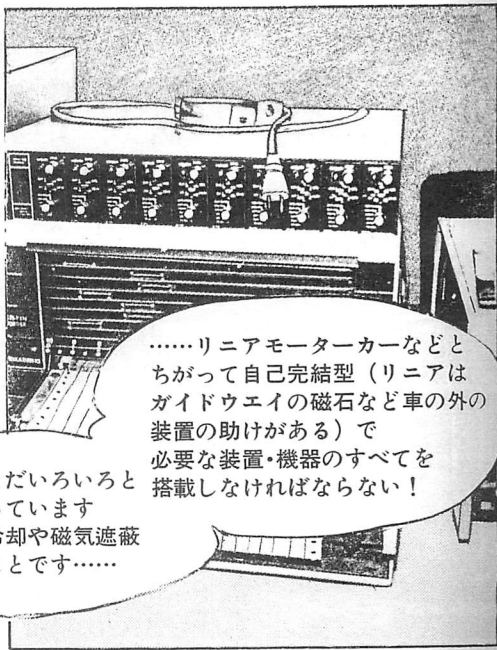
ほかにもまだいろいろと
難問は残っています
コイルの冷却や磁気遮蔽
といったことです……

……で やっているん
ですが—現時点での
最大の問題点は
マグネット
磁石の軽量化—と
いうことでしょう……

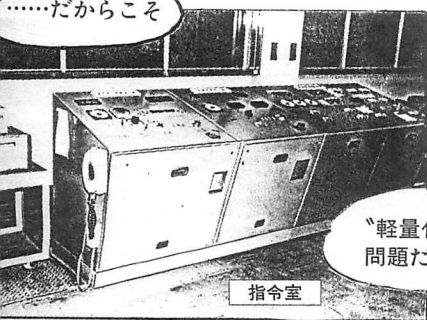


……当初50トンの船を
造ろうとしたら その装置だけで
100トンになってしまった

……リニアモーターカーなどと
ちがって自己完結型（リニアは
ガイドウェイの磁石など車の外の
装置の助けがある）で
必要な装置・機器のすべてを
搭載しなければならない！

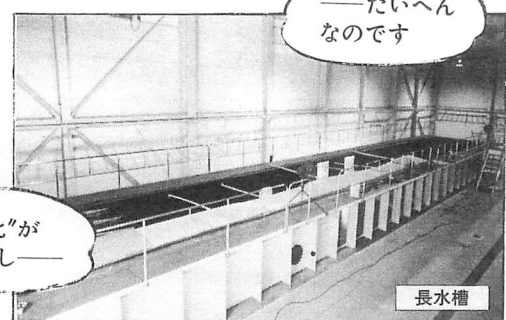


……だからこそ



指令室

——たいへん
なのです



長水槽

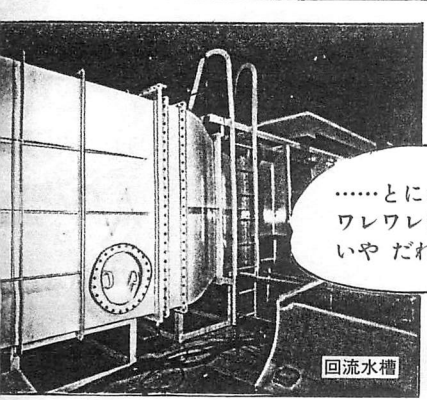
“軽量化”が
問題だし——

●筑波での研究プログラムの分類

第一期●S 64年に実験船●S 65年に実証実験——これにはまず超電導電磁推進船として必要な装置・機械類のすべてを搭載した（現状のヘリウムで）“自己完結型”の船の自走を実証すること。

第二期●新しい超電導材料の開発結果を応用して、液体テッ素温度で作動する超電導コイルを利用、軽量かつ高磁コイルを用いた実用化に近い船を造る。

第三期●夢の超電導電磁推進船として①直接海水に電気を通さない方法として移動磁場方式の電磁誘導（海上のリニアモーター）による推進方法の開発②超電導コイルによる電気エネルギーの一部で推進することができる船③磁気誘導による港湾交通、及び遠隔制御（リモートコントロール）の可能性を検討……。



回流水槽

スクリューのない
船を造るんだ！
と叫び続けなければ
いけないんです！！

……とにかく
ワレワレは——
いや だれかが

……で！ まア
私らもやって
るんですが——

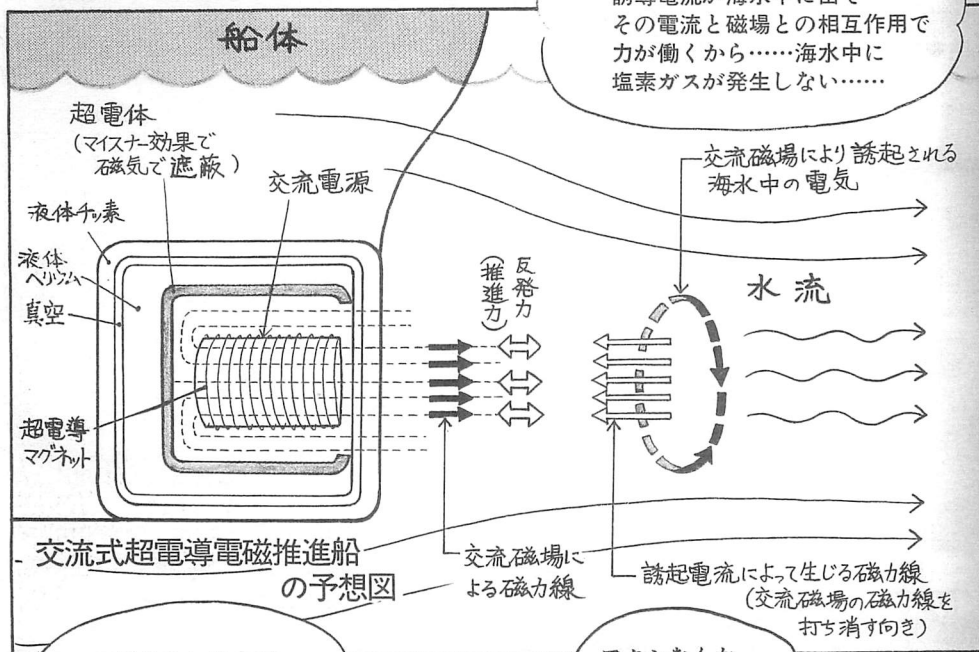


笹川陽平氏



— 次のステップとしては……交流を使った超電導マグネットの実験です……

交流は電極が不要になるというメリットもありますし誘導電流が海水中に出てその電流と磁場との相互作用で力が働くから……海水中に塩素ガスが発生しない……



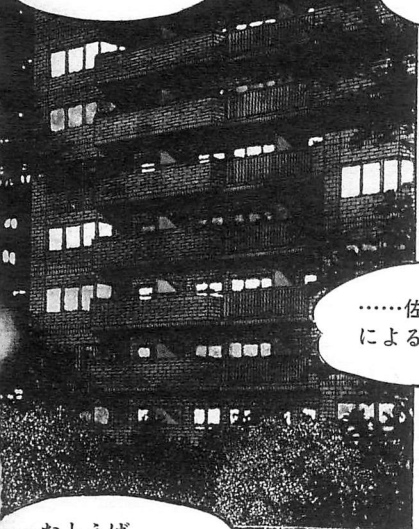
……具体的にはまだ
秘とおっしゃっていたけど……こんなかな!?

……順子
パワーがあるわねえ……!!

アタシなんかもうフラフラよ!

——じゃ
また明日!

……アタシだって
もう頭は“磁気
コイル状”だわよ



……アラ

——洋
きたの!?

お帰り……

……佐治教授
によるとサ——



——実用度は
相当に高いんだ
そうよ……!

——たとえば
現在航行している
LNG (液化天然ガス)
タンカーは



液体チッ素温度に近い
低温状態 (-200°C) で
走っているので
チッ素温度の
新超電導材が出現すると

——LNGタンカーが
いいモデルに
なるそうよ……すぐ
積みこめたりして……

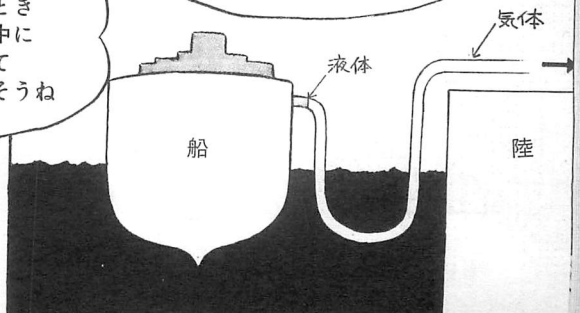


……また これは
だけけど——



——LNGタンカーは
陸上げするとき
管を一度海中に
入れて温めて
気体にするそうね

このときに生じる海水の
温度差を利用して 発電は
できないか……なんてことも
考えられているんだって!



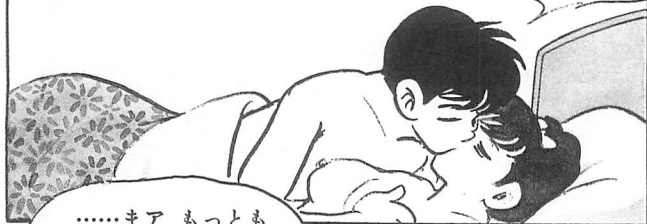


こっちの「管」も
温めてほしいね

……実用化間近って
いうのに——洋はまだ
基礎研究なんかしてるん
だから……！

パーカ
合金とセラミックスは
ちがうんだよ……！

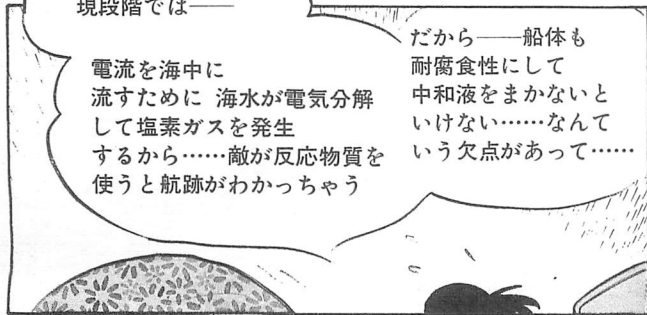
超電導材料には、セラミックス、金属、有機物の3つの
タイプがある。リニアモーターカーに使われているニオ
ブ・チタンが代表的だが、つい最近まで超電導材料と言
えば液体ヘリウム温度まで冷却するこの金属系だった。
応用面でも進んでいる。これに対し、セラミックス系超
電導体の場合は、硬くてもろいセラミックス
をいかに線材やテープにしていけるか、また弱
い電流しか流せないなどの課題が実用化にあ
たって残っている。



……まア もっとも
現段階では——

電流を海中に
流すために 海水が電気分解
して塩素ガスを発生
するから……敵が反応物質を
使うと航跡がわかっちゃう

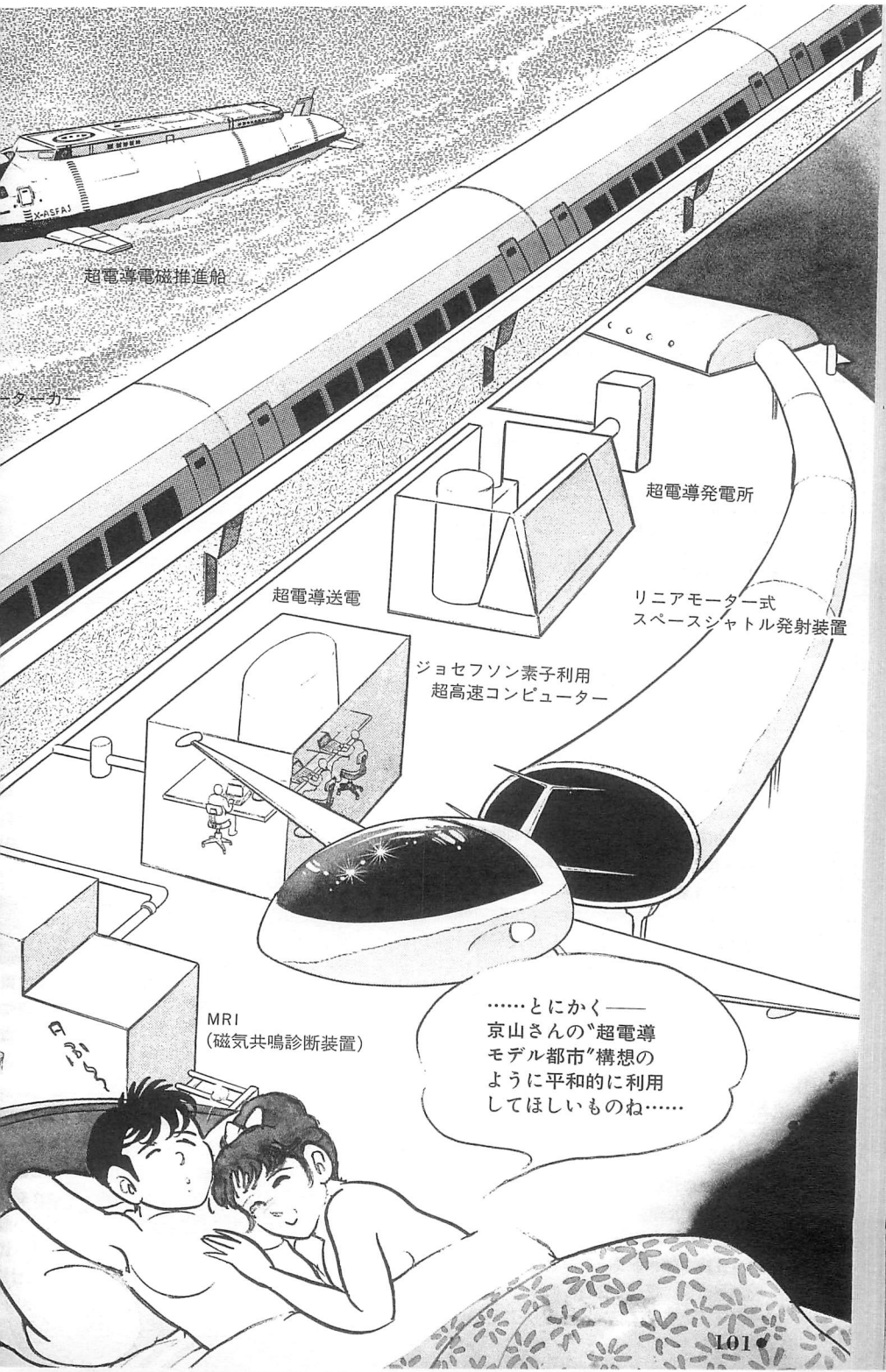
だから——船体も
耐腐食性にして
中和液をまかないと
いけない……なんて
いう欠点があって……



……しゃべって
ばかりいないで
マジメにやんな
さいよ……！

おしゃべりを
始めたのはキミの
ほうじゃなか!!

……それに
超電導船にも問題が
あるんだぜ——
軍事利用の可能性大！



超電導電磁推進船

ブーカー

超電導発電所

超電導送電

リニアモーター式
スペースシャトル発射装置

ジョセフソン素子利用
超高速コンピューター

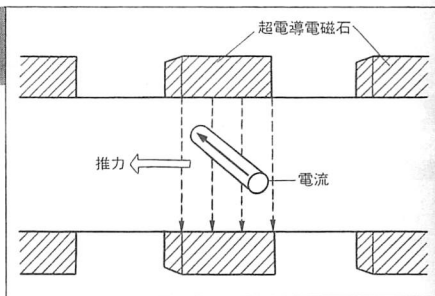
MRI
(磁気共鳴診断装置)

……とにかく——
京山さんの“超電導
モデル都市”構想の
ように平和的に利用
してほしいものね……

海のリアモーターカー EMT推進

Electromagnetic Thrust(電磁推進)の略。船の両舷の電極の列から海中に電流を流して、船内の電磁石でそれに直交する磁束をつくれば、船はフレミングの左手の法則で軸方向に進む。特色は、超電導マグネットにより、きわめて大きな磁束が効率的に得られること。「海のリアモーターカー」と呼ばれる。構造が簡単でメンテナンスも楽。

神戸商船大学の佐治教授や日本造船振興財団が研究を進めているのはこの方式。ただし、水と塩化ナトリウムの電気分解が起こり、酸素と水素、ナトリウムと塩素が生じやすく、これが課題になっている。強い磁場をもつ磁石によって、少ない電流でいかに



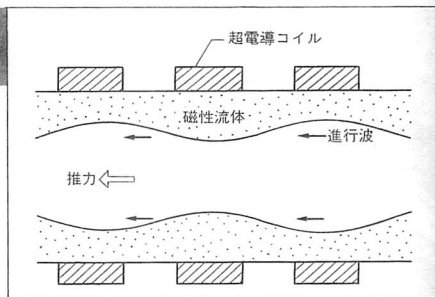
大きな推進力を引き出すかが鍵となる。

上の図は、ソ連の潜水艦ビクターIII型のポッド部分に新型の推進装置が設置されていると判断し、推定されたメカニズムである。推力は左向きに出るので、船は右に進む。

進行波ポンプで動く MHD推進

Magnetohydrodynamic (電磁流体工学)の略。進行波ポンプが考えられる。二重になった管壁の内部に磁性流体が充填されているが、管壁の回りの電磁コイルに適当な位相の電流を流し管壁を蠕動させる仕組み。吸入口から流入した海流は吐き出し口から送り出される。腸壁が蠕動して食べ物を送り出す様子に似ている。こうして壁面が進行波を作り出す。

ソ連は1972年に船体と海水の間に生じる渦流をなくし抵抗を少なくするための境界制御の特許を出願し、MHDの研究を進めていると見られる。ヴィクターIII型潜水艦のポッドの中にはこの進行波ポンプが



作られているとの説もある。

上の図のようにコイルが設置され、ここに位相が進んで行くような形で電流を流すと、磁性流体が蠕動運動を始め、内側の水を後方(図の左)へ押しやり、その反作用で船は進んで行く。

空間的に伝わる波、伝わらない波 進行波

時間的な変動にしたがって空間的に伝わっていく波のこと。たとえば、なわとびのなわを使って一方の端に小さく波を作ってやると次第に遠くまで伝わっていく様子が見える。これが一種の進行波である。MHD推進では、コイルに流す電流の位相を変えてやることで全体としてクネクネと動く進行波が生み出される。これがMHD推進の推進力になるのである。

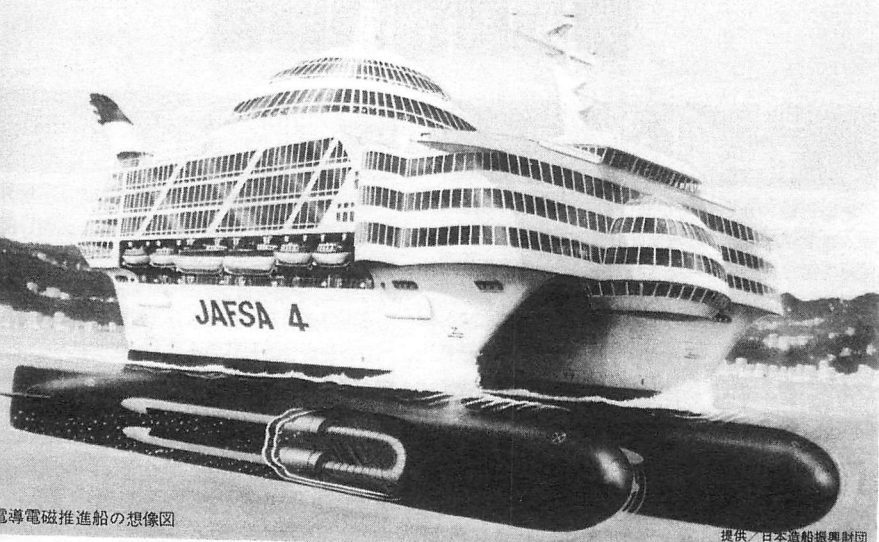
進行波に対し、空間的な振幅分布が定まり、時間的な変動が空間的に伝わらない波のことを定在波という。進行波が境界で反射して返ってくる時などに定在波が起こるが、この定在波を使って、吸音材料の吸音率を調べたりしている。

流体に磁性をもたせる 磁性流体

流体がまるで磁性をもっているかのように振る舞うものである。MHD推進の場合に、この磁性流体は不可欠である。磁性流体の作り方は、まず磁性体粒子を界面活性剤で安定的に分散させ、そのあとこの磁性体粒子を流体に高濃度に溶かし込む。

こうして、流体そのものが磁性をもつようになる。代表的な磁性流体では、マグネタイト(Fe_3O_4)の微粉にオレイン酸を吸着させ、さらにその外側に疎水基に向けて炭化水素中に分散させやすくし、溶かし込んだものがある。

磁性流体は、圧力シール、回転軸シール、比重選別、スイッチなどに使われる。



超電導電磁推進船の想像図

提供：日本造船振興財団

筒状のダクト周辺に磁場を作る 内磁場方式

超電導電磁推進船の方式には、内磁場方式と外磁場方式の2つの方式がある。内、外と言っても、マグネット自体は船の中に据え付けられているわけだが、船体下部に開けられた筒状のダクトの周辺に磁場をつくり、ダクト内で海水噴流を発生させるのが内磁場方式と呼ばれるものである。つまり、船の中のできる形になる。

内磁場方式の場合、パイプの周りに固定するサドル型のレストラック型マグネットをつくる必要がある。この技術がなかなか難しく、したがってかなり高価な代物になる。日本造船振興財団が手がけるのが内磁場方式のほうである。

海水中に渦電流を生じさせて推進力を得る 交流式超電導船

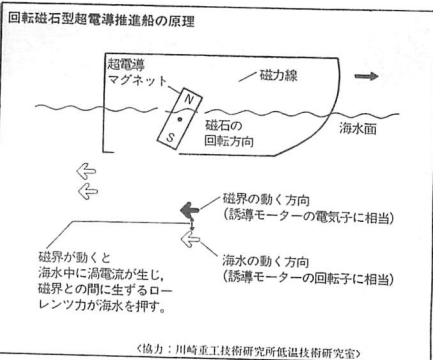
神戸商船大学の佐治吉郎教授は新しい挑戦を続ける。昭和62年11月の低温学会で発表した交流式超電導船がそれだ。海水中に電極がないので海水の電圧というデメリットが生じない。

交流式超電導船については、アメリカのO・M・フックスという人が理論面からの示唆を与えていた。佐治教授が川崎重工業と共同で行った実験で、模擬海水100リットルを入れた水槽の上に直流超電導マグネットを置き、毎秒15回転させた。磁石と海水の中に渦電流が生じ、磁界との間に生じるローレンツ力が海水を押す。こうして、海水が1センチのスピードで動いたのだ。

海中へ磁力を出して推力を発生させる 外磁場方式

船底に置いたマグネットから磁力を海中へ出し、そこで誘起される電流とのぶつかりで推力を出す電磁推進方式。電極が船底の外側につくられ、常に海水に浸っている点も特徴的だ。

内磁場方式に比べ、外磁場方式は複雑なマグネットをつくる必要がなく、安くできるメリットがある。佐治教授が外磁場方式に着目した理由もそこにある。ただし、外磁場方式は磁気の遮蔽(しへい)に気をつけなければならない。構造上、磁気が海の中に漏れやすく、船底に鉄粉が付着したりするケースもまま起ることがちだからだ。こうなると性能が落ちることはいうまでもない。



今回の実験は、磁石を機械的に回して進むので、スマートではないが、さらに洗練された交流式超電導船が我々の前に姿を現すときが来るだろう。

電荷が電場と磁場から受ける力 ローレンツ力

電場と磁場から電荷が受ける力についての法則で、速度 v で運動する電荷 q の物体が電場 E と磁場 H から受ける力は $F=q(E+v\times H)$ である。速度ベクトルに対し垂直に作用し、軌道を曲げるが、仕事はしない。

ローレンツの名前はオランダの理論物理学者にちなんでいる。彼は、物質原子内の電子の存在を確認したり、自由電子を仮定して金属の電気熱伝導などについて考えた。こうした研究の結果、電磁場がふつうの物質とは独立した物理的実在であることを明確にしたのである。1902年にノーベル物理学賞を受賞している。

もっともエネルギーの低い状態 極低温

絶対0度近くの温度領域。特に、液体ヘリウムの沸点4.2K以下の温度をさす。

ふつう、原子や分子は乱雑な熱運動を行っているものだが、これが低温になってくるとしがって運動は弱まるという傾向がある。極低温では熱運動がほとんど消えて、物質はもっともエネルギーの低い状態に近づくのである。その結果、最低エネルギー状態の不思議な性質が現れる。たとえば、液体ヘリウムの超流動、そして超電導などの現象である。

極低温で物質が低エネルギー状態になるのは、人間が寒冷地では身を丸め、動きが鈍くなるのと同じようなものである。

外磁場方式のウィークポイント 磁気シールド

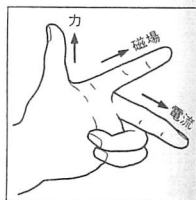
外磁場式の超電導電磁推進船の場合、磁気が海中に漏れてくる仕組みになっている。なにしろ船底にむき出しの電極がついているのだ。海中でフレミングの左手の法則にしたがって推進力が生じることになっているが、その結果、磁気が漏れ過ぎるといえるトラブルが起こる。たとえば、船底に鉄粉がついて電極が役に立たなくなったりするのである。

そこで、鉄などの強磁性体を用いて磁気を遮蔽(シールド)することに気を配っているわけだが、強力な超電導マグネットを使用するとどうしても磁気漏洩が多くなるし、かといって磁場が弱ければダメである。難しい問題である。

磁場と電流から互いに垂直の力を受ける フレミングの左手の法則

電流の流れる導線が磁場の中でどのような力を発生させるかを示す法則。左手の親指、人差し指、中指を互いに垂直になるように立て、人差し指を磁場の方向に、中指を電流の方向にかけると、電流の流れる導線が磁場から受ける力は親指の方向に現れる。

フレミングの右手の法則というもあり、磁場の中で垂直に導線を動かす場合の法則。互いに垂直に立てた右手の親指、人差し指、中指のうち電流は中指の方向へ流れる。



直接海水中に電流を流さない方法 移動磁場

夢の超電導電磁推進船として日本造船振興財団などが考えている船は、移動磁場方式の電磁誘導による推進方式をもつ船だ。これはまさに海のリニアモーターカーとも言うべきもので、位相をずらした交流電流によって海水中に移動磁場を作るのが特色。海水中に電流を流さないですむ方式だ。超電導線はコイルにせず何本も並べられた形になる。

リニアモーターカーの場合、サイクロコンバーターによって電力の周波数を変え、車両を推進用磁石に送り込んでいたが、この超電導電磁推進船の場合の移動磁場は、船内の発電機から超電導マグネットに位相をずらした交流電流が送られるのである。

船の速さを表す単位 ノット

船の速さや潮の流れの速度を表す単位。1ノットは毎時1海里(1852メートル)のことである。超電導電磁推進船は100ノットほどの速度が理論的には期待できるが、これは時速185キロメートルにもなる。速いはずだ。ソ連の原子力潜水艦アルファ型は水中を42ノット(時速約78キロメートル)で走ると言われ、驚異的な数字を残している。

なお、我々はよく時速1ノットという言い方をするが、ノットという単位には時間あたりのという概念がすでに入っているため、これは「一番ベスト」、「よりベター」と同じ類の間違ひである。気をつけよう。

高い引っ張り強度をもつ

チタニウム

タンのこと。周期表第Ⅳ族の元素。原子番号22。質量47.88。1794年ドイツのクラプロートが鉱物ルチウム（金紅石）から新しい金属元素を発見し、チタンと名づけた。

タンは空気中では錆びにくく、錆びても表面に酸化皮膜が形成され、腐食に強い。チタン合金は鉄の約2倍、アルミニウムの6倍の引っ張り強度をもつ。しかも、磁気特性が優れている。そのほか、熱伝導率、熱膨張率が低い重要な金属材料である。航空機や船舶などの構造材として使用される。25気圧の酸素中では自然発火。チタン合金は超電導体、ニッケルチタン合金、形状記憶合金、チタン鉄合金は水素吸蔵合金。

ココムに違反しソ連へ不正輸出

東芝事件

ココム（対共産圏輸出統制委員会）の規制に違反してソ連に大型NC（数値制御）工作機械を不正に輸出した東芝機械の事件。プロペラの表面を加工する機械に関して、機械部品とNC装置用プログラムを不正に輸出した。東芝機械はココム大臣の許可や承認を受けずにソ連に輸出した。アメリカによれば、ソ連はこのNC装置を利用して潜水艦のスクリー音を減少させる技術を開発したとされる。

東芝機械は東芝の50パーセント出資の子会社。世界最大型工作機メーカーである。印刷機、IC製造機などを作っている。なお、親会社東芝の会長、社長を辞任した。

権威ある軍事専門年鑑

ジェーン年鑑

ジェーンに本社をおく出版社ジェーンが、毎年夏に発行する軍事専門の年鑑。世界的に権威があるとされている。15年間編集長を務め87年9月に辞めたムーンはイギリス海軍情報部にいたことがあり、ユークラスの軍事研究者として知られる。

ジェーン年鑑の中でしばしばソ連は新型の潜水艦推進装置を備えた潜水艦を作っていると指摘している。ヴィクターⅢ型潜水艦（6000トンの船体を浮力バラストで航行する）の船尾にあるポッドがその推進装置であると推定している。

ジェーンは、彼の意見に疑問を呈する軍事評論家も多

エッセイ

東芝機械事件と超電導電磁推進船

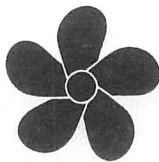
スクリー音

ココム違反を承知で東芝機械がソ連に輸出したとされているのが、9軸制御のNC（数値制御）工作機械。アメリカに言わせれば、これがソ連潜水艦の性能アップに貢献しているという。

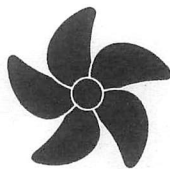
「海の忍者」とも言われる潜水艦にとって、自ら発する騒音の存在はへたをすると相手に見つかってしまう危険性ははらんでいる。軍事戦略上極めて重要なのだ。スクリー音もその騒音のひとつ。米ソは、相手潜水艦の位置を確定するためにこのスクリー音を探知しようと躍起になっている。

東芝機械の輸出した工作機械は、複雑な羽根の形状をつくることのできるころから、アメリカはこの工作機械がソ連の潜水艦のスクリー音を非常に小さくするために使われたと主張する。旧式のソ連潜水艦なら300キロほど離れていても探知できたが、最新のものでは15キロまで接近しないと探知できなくなっている、という。事の真偽は闇の中だが、確かにソ連の技術が向上していることは事実。

さて、スクリー音が忌まわしき騒音をつくり出す仕組みを紹介しよう。スクリー音が回転すると羽根



従来型



ハイスキュー型

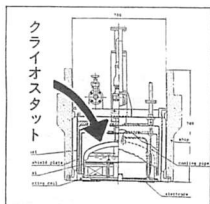
の周りに水圧の低い部分ができる。これをキャビテーション（空洞）というが、これによって水が気化し、沸騰したような状態になる。翼の表面に空気の膜ができ、盛んに泡だつ。スクリーから離れた泡は水圧で潰れ、その際に音を出すのである。しかも、泡がなくなると、空洞付近にやってきた水が羽根にぶつかって金属音を出す。

このキャビテーション音をはじめとした雑音をできるだけ小さくするための工夫として、たとえば、ハイスキュー型と呼ばれる低振動・低雑音のスクリーも開発された。大きく曲がった羽根が、泡の発生を減らしキャビテーション音を抑えるのである。

スクリー音のない、騒音の出るはずもない電磁推進船が実用化されると、状況は一変することは確かである。

用 語 極低温研究に不可欠な脇役 クライオスタット

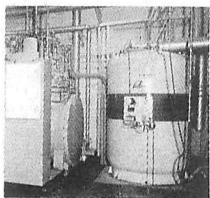
低温恒温槽のこと。液体ヘリウム容器などをさす。超電導電磁推進船は、超電導マグネットをこのクライオスタットに入れる。液体ヘリウム温度は4.2K、外側の温度が常温でほぼ300K。かなりの温度差のものが向かいあっているわけだが、断熱層の厚さがある



まりないと船底に氷をくっつけることもある。また、厚すぎれば、熱の侵入は少ないが、磁場も低下しやすい。佐治教授の実験船ST-500(左)の場合は厚さ18ミリだ。

用 語 液体水素から液体ヘリウムを作る カスケード型ヘリウム液化機

臨界温度以下で適当な圧力をかければ、気体は液化する。ふつう、気体は冷却するか圧縮すれば液化が起こる。しかし、物質固有の臨界温度より低くしなければ液化しない。窒素はマイナス196度C、水素はマイナス253度C、ヘリウムはマイナス269度C。



液体空気で高圧水素ガスを冷却し液体水素を作り、この液体水素から液体ヘリウムを作るといふに2段階の工程を経るのがカスケード型のヘリウム液化機。

用 語 輸送や貯蔵に便利な液化ガス LNG

精製した天然ガスを冷却液化したもの(沸点は110K)。液化天然ガスの略。成分はほとんどメタン。重要な燃料であり、現在の都市ガスは次第にLNGが利用されてきている。液化すると体積が数百分の1になるので輸送や貯蔵に便利である。

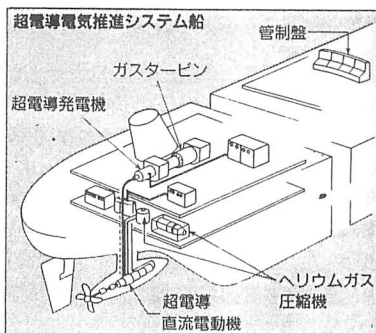
LNGを積み出し港から運ぶLNGタンカーは、主にエチレンやメタンを輸送するが、ここでは高度な冷却技術が大切になってくる。また、ガスを積み込むときにタンクが収縮し破壊される危険があったりする。輸送中に蒸発するガスの処理も注意すべきことである。なお、LNGは、消費地で気化して使われるのである。

用 語 住友重機械工業が進めるもうひとつの超電導船 超電導モーター船

このマンガの中では、2つのタイプの超電導電磁推進船の研究開発を見てきたが、この電磁推進船のほかに、超電導の船舶への応用はいろいろと考えられている。

スクリューはあるものの、その動力源として現在のモーターに代わって低騒音・高効率の超電導モーターを使い、より強力な推進力を生み出す船舶を開発しようというのがそれである。これが、最近新聞などをにぎわしている超電導モーター船である。

数年前から、住友重機械工業が日本船舶機器開発協会と共同で、このタイプの船舶を開発中。仕組みは、まず超電導界磁コイルをもつ発電機をガスター



ビンで回し、その電力で超電導直流モーターを動かす。そしてスクリューで推進力に変換するというものである。

メリットは確かに大きい。騒音や振動が少ない点は超電導電磁推進船と同じで、しかも小型・軽量化が実現できることが特色となるからだ。住友重機械工業では650馬力クラスの超電導電気推進船舶システムを試作し、現在は船体の研究に入っている段階。数年内には2万馬力クラスの実用船をつくる予定である。

住友重機械工業では、船体の形として、設計に多くの別約がある潜水艦に應用を考えているという。各機器はケーブルやパイプで結べるため、今までの機械的な動力伝達系は不要となり、モーターやスクリュー系統の配置に自由度が増し、居住空間も増える。このシステムを使った潜水艦を開発するよう防衛庁に提案する計画もあるが、この超電導モーター船のおかげで、ユニークな形の潜水艦がひょっとしたら誕生するかもしれない。

実用船へ向け設計された

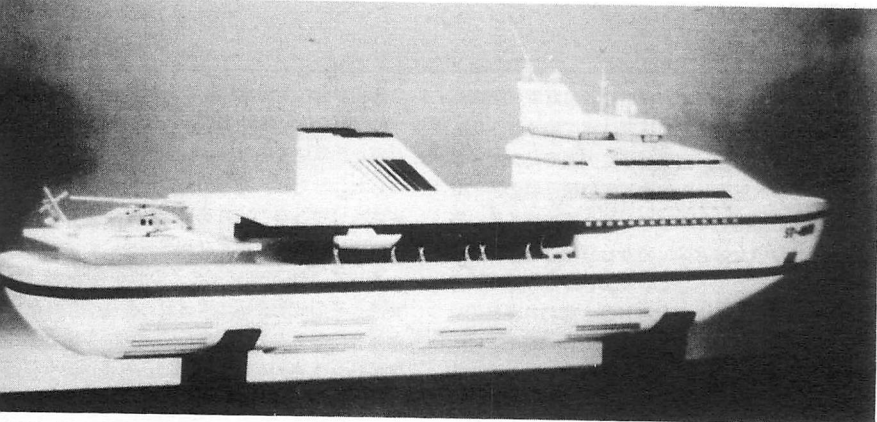
超電導砕氷船

超電導推進のメリットは、なんといってもスクリーが要らないこと。氷によってスクリーが破損しやすい砕氷船にもってこいのシステムだ。

世界最大の砕氷船メーカーはフィンランドにあるパルチラ社。そのパルチラ社から神戸商船大の佐治教授のもとに「1万重量トン、5万馬力の砕氷船に超電導電磁推進でつれないだろうか」という依頼があり、こうして設計されたのが超電導電磁推進機を搭載した実用砕氷船ST-4000B。重量は、約2000トンで、船体の長さが118メートル、幅が23メートル。常用推進力は4メガニュートン。このST-4000Bの模型は、つくば博で鉄鋼館に展示された。

ST-4000Bに搭載された超電導コイル(SAGE 7)は、佐治教授と日立製作所とが協力して開発設計したもの。現在の技術水準でつくりうる最大最新鋭の超電導マグネットであり、寸法は全長13メートル、全幅4メートル、海水電極での磁場は、7万ガウス。ST-4000BにはこのコイルSAGE 7が4組5列、合計20個搭載されている。

ST-4000Bの氷海での常用推進力4メガニュートン時に必要な電力は2万キロワット(2万7000馬力)。従来のスクリーウの約60パーセントですみ、推進効率が高い。また、最大推力は、砕氷船「しらせ」の10倍の推力に相当する95メガニュートンになる。



つくば博に出展された超電導砕氷船ST-4000Bの模型

超電導電磁推進船のウィークポイント

海水の電気分解

海水は3.5パーセントの重量比の塩類を含んでいて、海水に溶けている塩類はイオンになって電解質となっていて、電気伝導度は純水に比べ格段に高いのが特色である。

ところで、スピード抜群の超電導電磁推進船にも弱点がある。それは、電極に通す電気が海水の電気分解するほうに費やされることである。電解で、酸素と水素、および塩素とナトリウムが出る。推進力を得るために電流を流すのか、電気のために電流を流すのかわからないと悪口を言っているほどだ。しかも塩素ガスは毒。交流式超電導ならその弱点が克服できると期待されている。

ソ連の海軍力に詳しい軍事評論家 藤木平八郎さん

大正12年、福岡県生まれ。昭和20年旅順工科大学工学部電気工学科卒。海上保安庁を経て、海上自衛隊へ。技術者として艦艇の電子兵装および計画の仕事に就く。51年に海将補になる。退職後は、「世界の艦船」「ザ・マーチ」などの雑誌に執筆中。

「なだしお」と釣り船の衝突沈没事件については、「潜水艦は潜るもの。浮いているときは陸に上がったカッパと同じで、舵もきかないし、スピードも出ないのです」



基礎研究の遅れが目立つ日本の造船業 70億円のライセンス料

日本造船振興財団が昭和60年から超電導を使っている電磁推進船研究を開始した背景には、他の分野と同様に造船業でも基礎研究が不十分である事実に対する笹川陽平理事長の反省があった。

笹川氏によると、世界の約半分のシェアを占めている日本の造船業も、技術革新という面から見るとお寒いざりだという。心臓部であるエンジン部分はなんと約70億円のライセンス料を外国に毎年支払っているのである。

わが国の造船業は見かけ上世界一であっても、実際はエンジンが外国製だから船殻工事で世界一と言うべきだ、とも笹川氏は語っている。

超電導船を開発中 日本造船振興財団筑波研究所

超電導電磁推進船の研究が続くのは筑波研究所。敷地面積約6万平方メートル。もともと筑波研究所は、海洋油濁防止装置の開発のために研究がスタートする。昭和55年に日本造船技術センターから日本造船振興財団の所管になり、海洋環境技術に関する試験研究業務を追加。複雑な水面でも測定観測できる回流水槽、広い水面での試験を可能にする角水槽がある。



電磁推進船のパイオニア 佐治吉郎さん

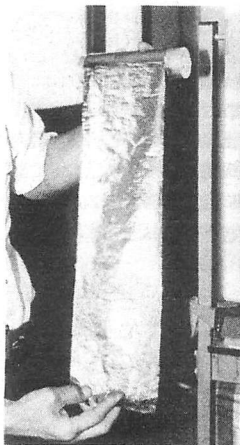
今でこそスポットライトを浴びる超電導電磁推進船だが、ここに至るまでの研究は実に地味だった。苦労もまた多かった。昭和40年に大阪市立大学から神戸商船大学へ転じた佐治教授は極低温の研究を続け、43年には自力でヘリウム液化機をつくる。当時、液体ヘリウムはアメリカから空輸されていて、1リットルが1万円もした。このヘリウム液化機は液体水素で液化するカスケード型と言われるもの。1時間に2リットルの液体ヘリウムができる。

佐治教授と電磁推進船との出会いは、川崎重工の若田章氏から「電磁推進船を開発しませんか」との打診があったことから。面白いテーマなのにあま

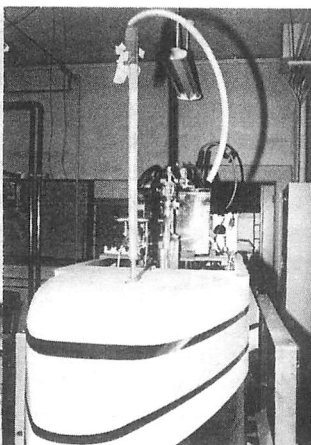
り研究が進んでいないことを知り、実験を始める。

ヘリウム液化装置は超電導の実験には不可欠だが、なかなか手に入らない。したがって、佐治教授は自作したわけだが、昭和50年、1時間に10リットルの液体ヘリウムをつくれる装置が文部省から入り、これによって一気に研究が加速する。

そして、昭和52年に初めての超電導船SEMD-1完成。その成果を翌年アメリカで開催された低温工学会の席上で発表。さらに昭和55年、ST-500が完成し、本格的な実験が続けられる。つくば科学博では鉄鋼館で未来の超電導船ST-4000を公開。着実に研究は進んでいる。



磁気シールド膜の試作品



ST-500



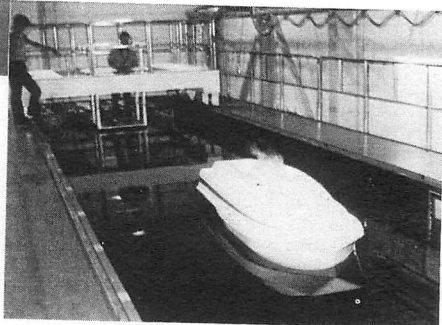
佐治吉郎さん

超電導セミナー

有人船開発にメド ヤマト1号

超電導電磁推進船の研究は着々と進んでいる。日造船振興財団では昭和63年7月に、10分の1の模倣船を使って、自力走行実験に成功した。模型船は、長さ2.6メートル、重さ420キログラムで、これを無操作で操縦したものである。65年には有人実験船、ヤマト1号が完成する予定だが、関係者はその開発に期待が立ったとしている。

実験では、0.7キログラムの推力で秒速0.5メートルのスピードを記録した。今までは固定しておいた模型船を使って推力実験を行っていたが、これで実用船としての研究開発が進むものと期待されている。



ヤマト1号は昭和64年に建造され、65年に実証実験が行われる。排水量約150トン、推力8000ニュートン、速度8ノット、人員10人というのが実験船ヤマト1号の全貌だ。

海の男の単科大学 神戸商船大学

神戸市を代表する大学。大正6年に創設された立川崎商船学校が前身で、3年後に官立になり、高等商船学校と名前を変えた。昭和27年に新制として発足。

船学部1学部だけで、この中に航海学、輸送科、機関学、海洋機械管理学、原子動力学の5学科がある。学部学生約900人。大学院生50人。

キャンパスの片隅には実物の船が飾られていて、これも商船大学だという感を強くする。佐治教授の粘り強い研究のせいで、神戸商船大学というところと今や超電導電磁推進船研究のメッカになった神鉄深江駅から徒歩10分。

安いヘリウム液化機を購入した話 拾い物が生んだ超電導船

超電導船研究に欠かせないヘリウム液化機が佐治の研究室に入ったのが昭和60年。それまで自家装置を使って実験を続けていた。

しかし、問題は予算。佐治教授が要求していた装置は6000万円。文部省からは「そんな予算はつれない。せいぜい、2000万円」という冷たい返答。000万円の装置では1時間に4リットルしかヘリウムはできない。実験にはまるで使えない。と、そこへグッドタイミングな話が京商事から飛び込んできた。「先生、6000万円の装置が2000万円であるんですが」

聞いてみると、千葉大学がアメリカのメーカ

陸・海・空にハイテクを駆使 川崎重工業

明治29年に創業された造船メーカー。造船王国・日本を支えてきた。現在、航空機、オートバイ、ジェットエンジン、宇宙機器、海洋機器など幅広い分野で活躍する。次世代ジェットエンジンV2500の国際プロジェクトにも参加している。また、航空機の電子技術で培ったノウハウを活かし、産業用ロボットの分野でもバイオニア的な役割を果たしている。

そのほか、落書きで有名なニューヨーク市地下鉄に落書きのできないきれいな車両が登場し話題になったが、この車両は川崎重工業製。

超電導への取り組みは技術研究所が担当し、低温技術の開発と超電導関連装置の研究を進めている。

一から購入する予定の装置を倉庫に入れる際、輸入業者である伊藤忠側がドジをしてひっくり返してしまったというのだ。慌ててアメリカから技術者を呼び中の装置を修理したものの、千葉大学は受け取りを拒否。つまり、一度も使われたことのないヘリウム液化装置が宙に浮いていたのである。

結局、この新品同様の中古品を佐治教授が買った。「確かに表面にはキズがついていましたが、修理してかえって新品よりもいいものになったのじゃないですかね」と、してやったりの佐治教授。このヘリウム液化機こそ、その後のST-500の実験を可能にした縁の下の力持ち的存在となったのである。