

# プラグインハイブリッド船の開発経緯とその研究経験から学ぶこと

南 繁行 (大阪市立大学 複合先端研究機構, minami@elec.eng.osaka-cu.ac.jp)

## On the development of plug-in hybrid electric boat:

Lesson to the future of Japanese society

Shigeyuki Minami (Advanced Research Institute for Science and Technology, Osaka City University, Japan)

### 要約

日本ではまだ普及が途に就いたばかりである電動船の魅力について最初に記載し、その実現における技術的課題を明らかにした。更に、船という、信頼性が一番重要と思われる乗り物における、航続性能とロバスト性能を向上させるために、プラグインハイブリッド船 (Plug-in Hybrid Boat: PHEB) が有効であることを示した。本論文では、試作した2艇についての開発経緯と、その特徴、及び得られた特性について述べた。試作艇を評価した結果、目的とする実用的でかつ低騒音、低振動、排ガスの出ない特徴が電動船モードでは得られ、ハイブリッド船としての高い信頼性があることも明らかになった。結論では、この研究を通じて感じた、日本の繁栄の行く末についての私論を述べた。電池で航行する電動船は、日本の技術者にとって、その能力を発揮できる分野にも拘わらず、その開発が諸外国よりも遅れをとっている理由についても論じた。

### キーワード

アイドリングストップ, 省エネ, 電動船, 日本の技術と繁栄, プラグインハイブリッド

### 1. まえがき

自動車において、プラグインハイブリッドという言葉がしばしば聞かれるようになった。ハイブリッド自動車は燃費や環境性能に優れた乗り物であり、特にトヨタプリウスは、2010年9月に200万台、2012年4月には400万台の販売台数を突破し、我が国では最も売れ筋の車種となった (Chan・南, 2009; 南, 2011)。石油だけで走りモータとエンジンを併用したハイブリッド駆動システムに対し、外部商用電源から電池に充電して走ることをも可能にした方式を、プラグインハイブリッドと呼ぶ。我々は小型船舶におけるこのようなシステムの重要性を見出し、実用化に向けて試験艇を製作し、研究を行っている。本論文では最初にその研究開発の経緯とその特徴について述べる。

電池に充電した電力で航行する船、すなわち純粋な電動船は、日本ではまだ数が極めて少ないが、世界的には小型カヌーから全長20 mクラスの観光船まで、多数が就航している。電動船の歴史は古く、1839年にMoritz von Jacobiが14人乗り、長さ24フィートの電動船で3ノットの航行に成功している。これは実に、世界初のダイムラー・ベンツの自動車が発明するより、約半世紀も以前のことであった。1882年には、フランスの電動船が24ノットで26 kmの記録を作ったし、1886年には、32フィートの電動船VOLTAがドーバー海峡を8時間かけて往復している。

その後も電動船は多数製作されてきたが、20世紀に入ると、自動車と同じで、大半の用途では内燃機関の船に道を譲ってしまった。ただ、後で述べるように、電動船にはその静粛性や低排ガス性等、コストを度外視してでも必要とされる分野があり、継続してその市場が存在する。また、船は低速ではエネルギー消費が少ないので、次に述べるように、電池に

蓄積出来る電気エネルギーが少ないにも拘わらず、使い道によっては、経済面でも太刀打ちできる実用性もある。

電池だけで走る電動船が、その後ディーゼルエンジンの船によって凌駕されるようになった主な理由は、電池の蓄積できるエネルギーが小さく (鉛酸電池で約30 Wh/kg、リチウムイオン電池で約100 Wh/kg)、石油の約10 kWh/kgに比べ2ケタ以下しかない点にある。

一方で、船はその速度 $v$ の3乗にほぼ比例して、推進エネルギーが必要だから、航行速度を4分の1にすれば、消費エネルギーは64分の1になり、エンジン船に対抗できなくもない。これが、低速航行こそが必要とされる、河川や湖用観光船において、電動化が可能になる理由である。図1に、世界で使用されている電動船の長さや蓄積エネルギーの関係を示す。低速で航行すると考えると、自ずから必要な電池の量が決まると言える。

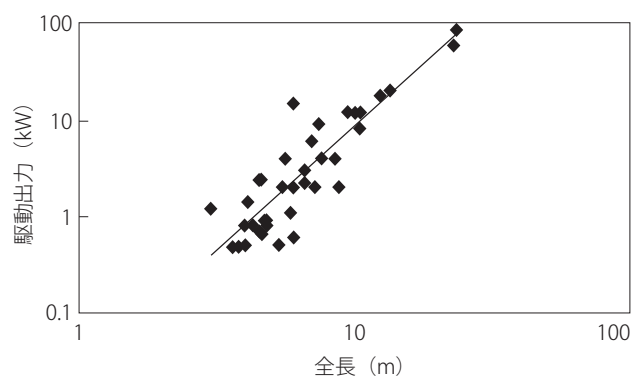


図1：世界で使用されている電動船の全長とモータ出力の分布

では、海外には多くの電動船があるのに、なぜ日本ではほんの10隻程度しかないのかというと、ゆっくりと航行する船に対する魅力をあまり感じない、せかせかした気性によるところが大きいからだと言える。そのため、電動船の需要がな

くその専門のビルダーも存在しない。もちろん、電池の価格が高価で、しかも2~5年ごとに100万円から数100万円単位での電池取り換え費用がかかることが、何事につけ、経済性を重視しすぎる国民性と相まって、普及してこなかった。電動船は排ガスを出さず、上手に作れば極めて静音で振動も少ないが、現状では全体としてのコストがかかりすぎることは否めない。唯一の用途は、お金の糸目をつけない電池式潜水艦ということになる。

ちなみに、対潜哨戒機等の兵器が発達した現在、世界的な軍事上の観点からは、潜水艦とは2年も3年も浮上せずに潜って航行でき、戦術的優位性が格段に高い、原子力潜水艦のことである。現在でも、電池式のいわゆる潜水艦は、全速力で僅か1時間程度しか航行できない。日本には、世間で潜水艦と言っている、「潜航可能な艦船」と定義された船は存在するが、良かれ悪しかれ、本当の潜水艦を所有していないのである。

さて、最近では、河川でのクルーズ船が増加の一途であり、いくつかの電動船も日本で建造され、河川等で観光用に用いられつつある時代になってきた。日本国民にも気持ちのゆとりができ、乗り物の速度や遠くに行けた距離が、旅の価値に比例しない、と認識されるようになってきたからだろう。運輸部門で真の省エネを促進するためには、利用する人が苦痛を感じるのではなく、このように新しい別の価値を見出すことにある。

先に、電動船のもつ電気エネルギーは小さいと述べたが、その意味で、なるべく航行抵抗の小さい船型にすることも重要である (Gillmer and Johnson, 1982; Larsson, 1994; Little, 1994)。我々も、抵抗の少ない船型を選ぶため、水槽試験を行ってきた (橋本, 1984; 池田, 1978; 面田, 2002)。カタマラン (双胴船) は、その艤装性に多少の難しい点もあるが、高速航行では、抵抗が少ない利点を生かせる優れた船型であると言える。図2は、大阪市立大学が提案したカタマラン電動船のイメージ図である (Minami, 2003a, 2004; Minami and Yamachika, 2003;)。

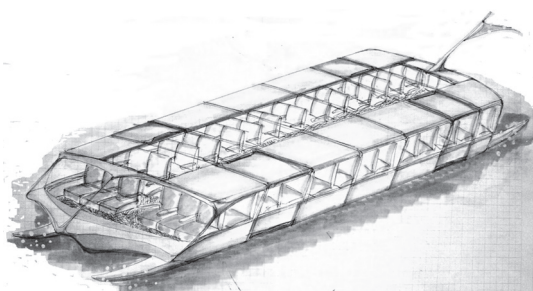


図2: 大阪市立大学で提案した河川クルーズ用電動船のイメージ図

なお、燃料電池で電気を作り、電動モーターで推進する燃料電池船もハイブリッド船と言える。使用する燃料である水素は、40 kWh/kgもの高いエネルギー密度をもつが、今のところ燃料電池セルにコストがかかるため、試作船しか作られていない。我々も2002年に燃料電池船を開発し、航行テスト

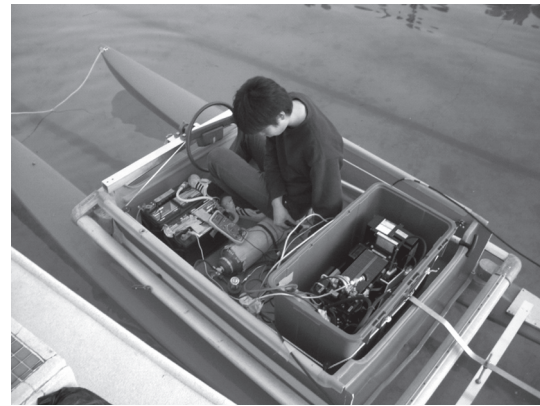


図3: 2002年に製作した燃料電池船の写真

を行った (図3) (Minami, 2003b)。その時点で、水素さえ投入すれば簡単に電気が出てくるので、既に燃料電池は基本的なところでは完成域にあると感じた。現在、多方面の企業によって、燃料電池のコストと寿命、それに低温性能等の向上のため、研究開発が進みつつある。

## 2. プラグインハイブリッド船 (PHEB-1) 開発の経緯

ハイブリッド船というカテゴリーの船がある。これは、電動モーターとエンジンを使用するが、電池は持っていない。搭載したエンジンやガスタービンで発電機を回転させ、その電力で電気モーターを駆動して航行する船のことである。主に大型クルーズ船、軍艦、砕氷船などにおいて使用されているシステムで、次のような特長をもつ。

- 航行する大型船のプロペラ回転数が1分間100回転程度であるのに対し、ガスタービンが数万回転の高速回転をするが、ロスのある減速ギアが不要である。
- モーターの前進後進あるいは滑らかな回転数制御が出来る。
- エンジンの設置場所を自由に選べる

それらの詳細を南 (2012b) がまとめている。これらのハイブリッド船は、エンジンとモーターの両方を搭載するため、その複雑さに勝る明確な目的をもって製作されており、スケールメリットから、1万トン以上の大型船において、優れた特徴を発揮する。例えば、プリンセスクルーズ社の大型ハイブリッド船Grand Princessでは、6機の11,520 kW出力発電機で、照明・エアコン等の電力と、21,000 kWの同期モーター2機でのスクリュウ推進を行う。つまり、クルーズ船にはもともと大型発電機が必要であり、その電力の何割かを推進に使用することになる。このようなハイブリッドシステムは近年、多少総合燃費も良いこともあって、1,000 tクラスの小型観光船にも採用されるようになってきている。これらハイブリッド船と呼ばれるものは、充電電池は使用せず、常に全ての航行用電気エネルギーを石油で発電して作り、その電力で直接モーターが駆動される。

先に述べたように、電池に蓄積したエネルギーだけで長時間航行することは、たとえ低速であっても容易ではない。そこで静粛性と排ガスの無い電気船の利点を生かしながら、

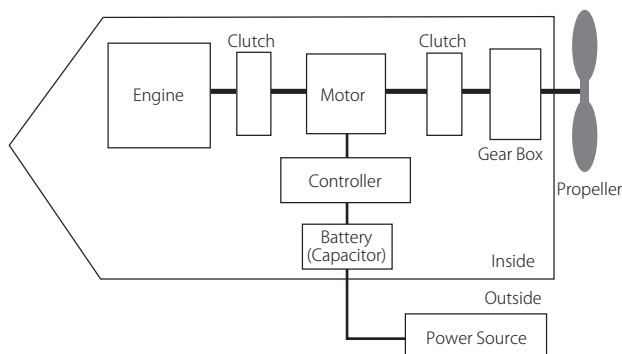


図4：駆動方式の図



図5：航行中の写真

ディーゼルエンジンの燃料補給の容易性と長距離航行可能な信頼性を同時に満たすべく、新しいタイプの船を我々は開発した。それが、商用電源から電池に充電して航行する世界初のプラグインハイブリッド船(Plug-in Hybrid Boat: PHEB)である。その1号艇 (PHEB-1) を2008年に開発した (Minami et al., 2010; Toki et al., 2010)。その駆動方式を図4に、その航行中の写真を図5に示す。

PHEB-1は一般公開等でも活躍し、電気での静かな航行と荒々しいエンジン航行との違いを、乗客に知ってもらうことができた。この船は2つのクラッチをもっており、外部商用電源で充電した電池のエネルギーによって、電動モーター単独での駆動が可能であるほか、エンジンを回し、電動モーターを発電機として電池を充電しながら航行したり、停泊中に電池を充電することも可能である。PHEBでは、エンジン船と電動船の燃費や振動の違いを、同じ船で同じプロペラを使って定量的に比較でき、乗客の方にもその違いを実感してもらうことができるシステムである。車にしても船舶にしても、なるべく商用電源で充電したいが、充電ステーションが限られており、長距離運転が事実上不可能に近い現状では、プラグインハイブリッド方式は最も進んだ環境に優しい乗り物と言えるだろう。

### 3. プラグインハイブリッド漁船 (PHEB-2) の開発とその特性 3.1 PHEB-2 の開発

試作したプラグインハイブリッド船1号艇 (PHEB-1) は、時代に適応した柔軟性をもった優れた方式の船である。このPHEB方式の有効性を生かした普及を考えると、新艇が続々と就航することが望まれるが、日本での船の年間販売が2,000

隻程度しかない経済情勢では、既存の船の改造をすることが実効性の面で最短距離にある。我々も既存の22フィートのディーゼル船を改造してPHEB-1を製作した。PHEB-1は、エンジンとプロペラ間のプロペラシャフトに、電動モーターとクラッチを取り付けた方式であり、そのシャフト間隔が十分長いことが必要であった。その観点でプレジャー船、漁船、観光船を眺めると、改造対象になる船は限られてくる。

そこで、より広範囲の既存船舶にPHEB化が適用可能な、新しいPHEB方式を開発した。それは、既存のシャフトを持つエンジン船において、その動力システムをそのまま生かしながら、追加的に電池・電動モーター・プロペラを装備した船である。図6に、その新しい駆動方法の概略を示す。

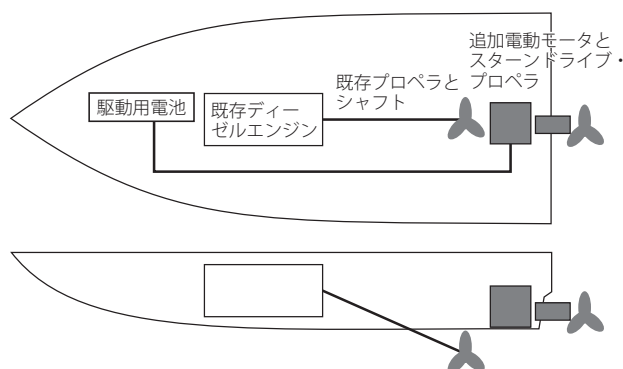


図6：新しいプラグインハイブリッド船の駆動方法

試作に使用した船は、全長約12 mの漁船であり、カツオ釣り漁などに使用されていたものである (図7)。搭載エンジンは、ヤンマー社のディーゼル6CHK-DT型で、最大出力は、190 HP (140 kW/2500 rpm) で、径55 mmのシャフトに直接プロペラ (図8) を取り付けたシャフト船である。この船の艀に別途ボルボ社のSX型スターンドライブを取り付け (図9)、最大67馬力の誘導機に結合した (図10)。プロペラは、モータートルクに適合するように、別途製作した。図10に、PHEB-2のシステム構成図を示す。

この船はPHEBとしては2号艇になる。電動推進だけで航行した場合の、モーター直入力電力と船速の関係を測定した結



図7：使用したPHEB化した漁船の写真 (艀にドライブが取り付けられている)



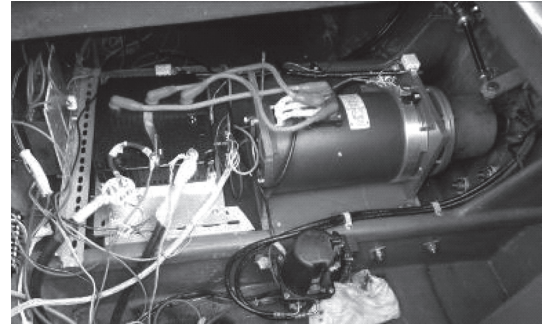


図9：電動モータをスターンドライブのプロペラシャフトに結合した状態の写真



図8：船の艫に取り付けたスターンドライブとエンジン用プロペラの写真

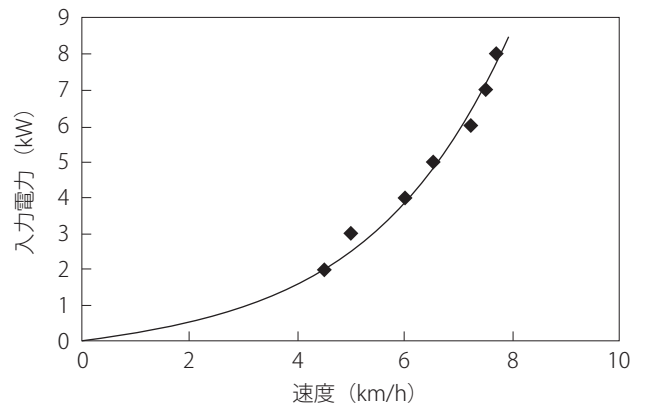


図11：モータ直流入力電力と船速の関係

果を図11に示す。

この船はエンジン制御系と電動モータ制御系は全く別になっており、柔軟な制御実験をするため、図12に示すように操舵輪も別々にした。ただし、24Vの制御系の電源は、エンジンの発電機および駆動用電源からDC/DCコンバータを使用して共通の電池に充電して使用するにした。エンジン始動用の発電機は、別システムになっている。この船は6 kVA

の3相発電機がエンジンに直接取り付けられており、航行中や停泊中に駆動用電池を充電することも可能である。

電動モータとインバータ部には、図13のように、換気機構を取り付けた。また、電池は現在、鉛酸電池を用いているが、2012年度中にリチウムイオン電池を搭載する予定である。こ

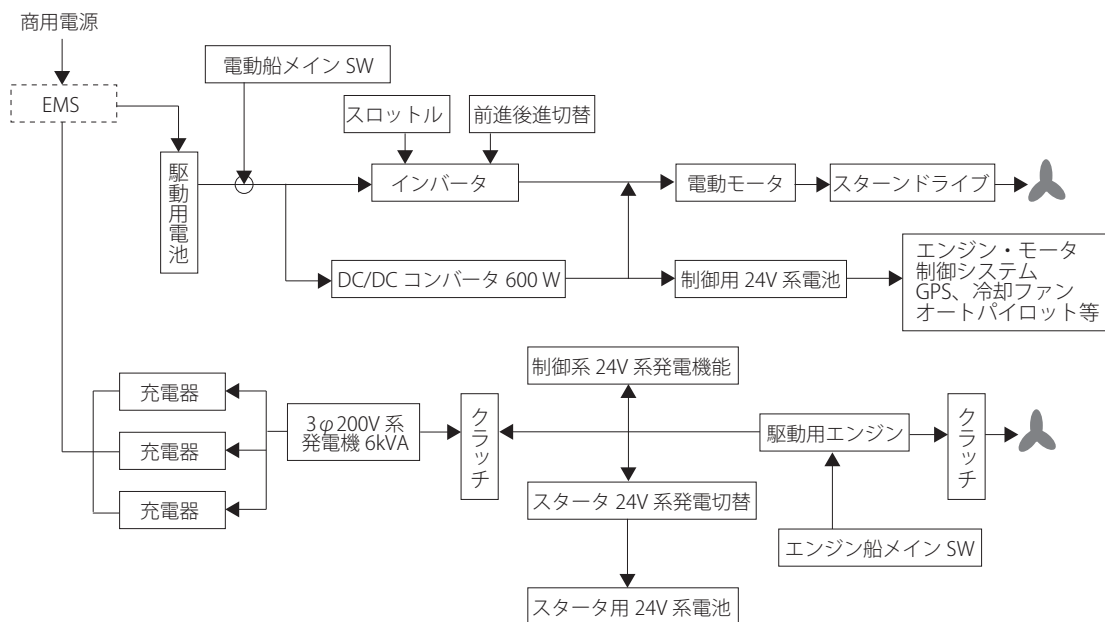


図10：製作したプラグインハイブリッド漁船(PHEB-2)の制御システム構成図



図 12：PHEB-2の操舵室写真

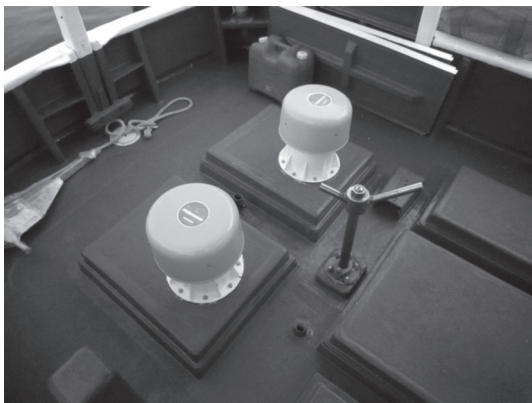


図 13：電動モータとインバータ室の換気装置

の電池搭載区画にも同様の換気システムを取り付けてある。

### 3.2 PHEB-2の騒音振動特性

電動船での静穏特性は極めて重要な要素である。このPHEB-2のモータールーム内2点とその蓋上における騒音レベルと電動モータ回転数の関係を航行中に取得した。その結果を図14（モータールーム内）、図15（その蓋の上）に示す。振動センサをモータフランジそのものに取り付け、モータ印加電力と振動の関係調べた結果を図16に示す。

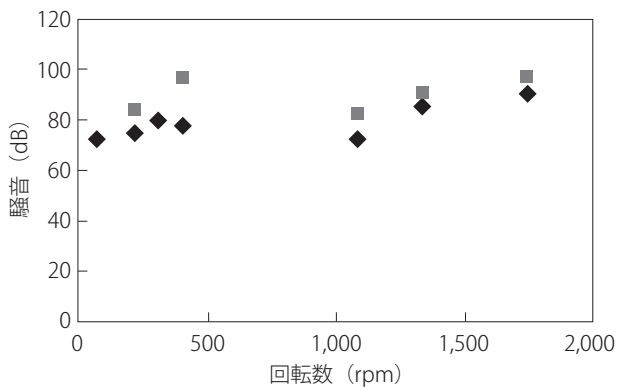


図 14：騒音 (dB) - 回転数 (rpm) 特性 (航行時) (モータールーム内の2点)

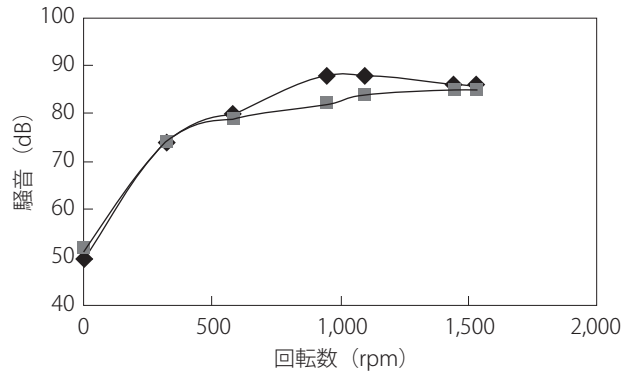


図 15：騒音 (dB) - 回転数 (rpm) 特性 (航行時) (モータールームの蓋の上2点)

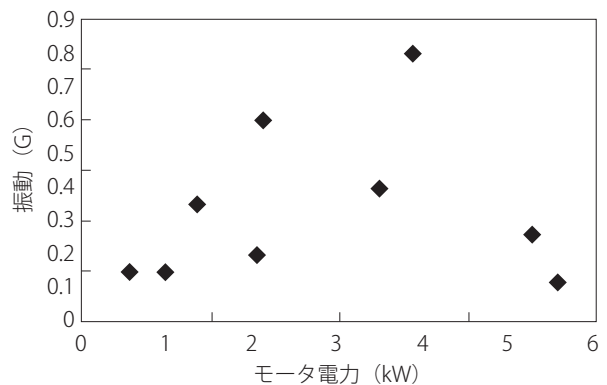


図 16：モータフランジ部の振動とモータ電力の関係

モータへの入力電力に応じてモータ回転数が変わるが、振動に関しては、共振特性があることが分かった。これらの結果から、騒音は回転数とともに増加するが、振動は必ずしも回転数が高いほど大きいとは限らないことが明らかになった。いずれも、プロペラが水中にあり、航行中のデータである。振動はドライブシャフトやユニバーサルジョイントとの共振によって大きく強度が変化する。今後、このような結果を考慮した防音・防振設計が必要であるが、騒音に関しては、モータが発生する部分が全体の1/4を占めることも、モータ単体での回転特性から明らかになっている。なお、モータにおける振動そのものは不快なレベルではなく、十分許容範囲にある。

### 4. 検討

プラグインハイブリッド船の普及は、経済性という利点を社会にもたらす。エンジン車が電気自動車に置き換えることによって、CO<sub>2</sub>の削減や騒音の低減がなされることは喜ばしいことだ。しかし、南 (2012a) が示したように、いまだき乗用車を運転していて、振動どころか、騒音や排ガスに悩まされることも稀である。確かに大型ディーゼルの騒音は大きい。このような大型車こそが電動化されるべきなのだが、電池のコストや膨大な体積を考えると、その普及の実現は今の性能を求める限り、石油枯渇の直前まで不可能に近いといえる。一方で、小型の船は、排ガスや騒音に悩まされ、大変過酷な

状況になっていることは確かである。船は車と違い、動いているときは安全だが、途中で止まったとたんにはすぐ命の危険と向き合せになる。船が行きあうシーンや大海原でエンジンが止まった船を想像してほしい。そのため、船の駆動システムのロバスト性（頑丈さ）は、陸の乗り物の何ケタも高いことが要求されるのである。

20年ほど前、自治体や大企業が電気自動車をこぞって導入した時期があった。しかし、現業の人が運転して、一度でも路上で電気が無くなってエンコすると、2度と使ってくれなかったというエピソードが一杯あった。当時販売された電気自動車の9割は、年間走行距離が1,000 km以下であった。ごく稀だが、ある運送業者の電気自動車1台で、6年間に約2.5万km走行しているのがあって、大変驚いたことを記憶している。ある自治体の電気自動車は6年で900 kmであった。これらはその後筆者が所有していたものだが、その中の1台の電気自動車は、新車から走行距離200 kmしか走っていない。これは、当時電気自動車が、目的や出来ることは何かを把握せずに開発が為された失敗例の典型である。

筆者は「電気自動車の実像」（2009）の第6章エネルギー源の文中で、10年前までの電気自動車の走行距離と購入額の平均から、300円/kmのコストがかかったことを明らかにした。つまり、購入しても使用されることが少なかったのである。商品は購入すること自体が目的ではなく、それを有効に使えてこそ生きてくるはずである。確かに、トンネルや建屋の中で走る自動車はコストに関係なく電気自動車である。しかし、電気自動車のこれまでの開発は、「何が電気自動車で出来て、何が不可能か」を理解していなかった点に問題があったと言えるだろう。まして、船の場合は更に重要な点がある。電動船の怖さを知ることは極めて大事である。安全性を備えた船用システムとして実現する方法が、電池でも石油でも航行することのできるプラグインハイブリッド船である。適材適所の考え方を生かしてこそ、開発した船も生きてくる。

プラグインハイブリッド船の用途として、小さな河川や湖での電動船の魅力を知ってもらうためと、漁船において一本釣りなどの定点航行に近い場合における燃費向上のためが挙げられる。

川下り（図17）では、下りだけに乗客を乗せていることが多い。この際は電気モーターで十分であり、船着き場に帰る際は、



図17：川下り船の例（最上川芭蕉ライン）

エンジンで発電して電池を充電しながら航行すれば、営業として成立する。

漁船では、図18のように定点での一本釣りがしばしば行われている。このような場合、エンジンでは常時、アイドリング駆動が為されており、たくさんの漁船が釣れるポイントに集中するため、排ガスでもうもうとした環境で、漁労が為されている。プラグインハイブリッド船だと、この点を改善することができる。電気では、駆動する時だけエネルギーを消費する。石油と電気のCO<sub>2</sub>発生原単位と機関の効率を使うと、両者のCO<sub>2</sub>発生量は理論的に約2：1から3：1になる。更にアイドリングが無い分、電動船は大きなCO<sub>2</sub>削減をもたらす。そして、漁場に向かう時や帰る際は、エンジンで航行することが出来るプラグインハイブリッド船は、この面でも優れていると言える。その特徴は次の通りである。



図18：定点での一本釣りにも拘わらず、エンジンを動かしたまま漁労が行われている。

- (1) 電動船のメリットを兼ね備え、エンジンでも走れる安全性を持つ。
- (2) 適材適所でのモータ航行が可能。
- (3) なるべく系統電力を使い脱石油に貢献。
- (4) 特に屋根のない船では、排ガス、静穏性の魅力が得られる。
  - ・ 電気モータは排ガスを出さない
  - ・ 静粛
  - ・ 超低速や前進後進時の柔軟な運転が可能
  - ・ ラジエータや水中排気機構が要らず、また設計上、排気システムも不要
  - ・ 可とう性の高い電線接続で駆動が可能
  - ・ 取り付け場所に対する設計自由度が高い
  - ・ 脱石油航行が可能
  - ・ 船舶は低速で走る分には陸上の輸送に比べ、重さあたりの燃料消費が少なく、システムの電動ハイブリッド化で、更に省エネ可能

## 5. 結論

本論文では、電動船の優れた特徴についてまとめた上で、プラグインハイブリッド船(PHEB)方式が、現時点での小型船舶の電動化には、最も適した方式であることを述べ、その開発経緯と試作船の特性を明らかにした。最初に、試作したプ



ラグインハイブリッド船 (PHEB-1) について述べ、その結果を生かして新しい方式の2号艇であるプラグインハイブリッド漁船を製作し、得られた特性について述べた。

船舶だけでなく陸上の自動車においても、プラグインハイブリッド方式が注目を浴びている。新しい方式を開発し普及するためには、その目的・設計コンセプトをはっきりすることが重要である。自動車からのCO<sub>2</sub>削減や排ガス低減は、確かに大抵の論文や書籍の枕詞として書かれてある。しかし、プラグインハイブリッドシステムといえども、コストを考えると最適なシステムかどうかは、そう簡単に結論できるわけではない。ただ、船の電動化システムは、搭載可能な電池のエネルギーが限定される中で、将来に向けて低速で航行する観光船の魅力啓蒙や、漁船の一本釣り等の限定した用途において、その安全性・利便性を考えると、コストはともかくとして有効性は計り知れないものがある。やはり、適材適所という言葉が重要であり、その考え方をもちて開発に当たるべきことを忘れてはならない。そうすれば、答えは見えてくるし、誤解をすることもない。そのような考え方が、技術者にとっても、開発のための財源を出す企業にとっても、肝に銘ずべき点であることを強調しておきたい。

筆者が30年ほど前にヨーロッパの運河で運転した、電池で走る小型船の静けさは忘れられない思い出である。やはり電動船は静けさがないと、その存在意義はほとんどないと言ってよいだろう。その意味で3,000隻を超す電動船を作っているビルダーがいる欧米に比べ、日本はこの分野での研究開発の貧弱さは目を覆うばかりである。

確かに、電動船は簡単に作れそうで、その静音化だけでも、そう簡単ではない。これまではエンジン音で隠れていたギアなどの音が浮かび上がってきて、電動船の魅力が台無しにすることがある。船の静穏化は、日本のすり合わせ技術を発揮できる真骨頂だと言えるのに、その素晴らしいノウハウは海外の電動船ビルダーが既に獲得しているが、我が国の電動船は騒音に関しては、総じてその足元にも及ばないのが現状である。電動船はその意味でも、奥行き深い開発テーマであり、簡単だと見くびってはいけない。

電動船の出来ることをわきまえた上で、その素晴らしさを享受できる豊かな気持ちを、日本で持ってもらえる方が増えてほしいと思う。先に記載した通り、速く動くことが全てではない。自動車において、日本でもSUVなどが普及し、自動車を使って何をして楽しむかに重点が移り、用途が多様化するようになったことも、その大きな証拠である。大阪は東洋のベニスに例えられなくもないが、こと川面に浮かぶ船の数で見れば、雲泥の差がある。あのベニスのような船のひしめきが水都として再現され、国民が船を使って河川の風情を楽しむことが出来る環境を作り出す迄には、その道のりは、はるかに遠いのが現状である。

今後、船の電動化が実効的に進み、電動船が国民の多彩なニーズにこたえる商品の一つとして、普及してほしいと願っている。当面は石油に替わる高いエネルギー密度をもつ電池の出現は不可能であり、電池だけで航行する船だけでなく、適材適所の観点で、電動船の素晴らしさを享受してもらうために、プラグインハイブリッド船も貢献したいものである。

日本の国民は、多かれ少なかれ、今でも日本が世界一流の優れた技術を持つ、優れた技術者集団で成り立っていると信じている。それは30年も前のことであり、生産力の担う製造技術力に関しては、アジアの諸国に後れをとっている分野が多い。これらの国の製品は、安いが劣悪な商品と日本人は侮どってきた。休日ばかりとらせる国策で怠け癖がつき、手に汗して働くことを敬遠してしまった国民には、どのような政権がどれだけ公共投資をしたところで、残念ながら明日はない。「勤勉さ」という言葉が死語になりつつあり、今の日本人を最も象徴しているのは「慢心」という言葉である。安い海外製品を享受しながら、それを労働コストによると見くびっている時ではない。それを欧米諸国から学んだ筈の日本人が、同じ轍を踏もうとしているのが現状である。製造コストより品質が重視される、欧米のトップブランドのファッションすら、日本が外され中国で作られていることに危機感を感じてほしい。

電機業界、自動車業界もしかりだが、電動船の普及・開発一つをとっても、まず世界の趨勢を知ることが大事である。電動船でも日本が大いに遅れをとり、大海を知らない井の中のカワズの一例とならないことを願い、この論文の結論としたい。

#### 謝辞

プラグインハイブリッド船に関する技術開発研究は、関西電力株式会社との共同研究としてなされた。その遂行に参加して頂いております同社の研究開発室の花田敏城部長、松田央チーフマネジャー、西順也マネジャー、藤原拓真氏に深甚なる感謝の意を表します。

日頃、本研究に献身的に参加して頂いている本学職員の林野正善氏、佃十純氏、小泉和人氏に感謝いたします。

#### 引用文献

- Chan, C. C.・南繁行 (2009). 電気自動車の実像. ユニオンプレス.
- Gillmer, T. C., and Johnson, B. (1982). *Introduction to Naval Architecture*. Naval Institute Press Annapolis.
- 橋本徳壽(1984). 船舶の速力と馬力の概算法. 成山堂書店.
- 池田勝(1978). 高速艇の設計と製図. 海文堂.
- Larsson L., and Eliasson, R. E. (1994). *Principle of Yacht Design*. Adlard Coles Nautical.
- Little, D. E. (1994). *Electric Boats*. McGraw-Hill Companies.
- 南繁行 (2011). 普及に向けた電気自動車製作技術. ユニオンプレス.
- 南繁行 (2012a). 電気自動車普及の未来予測が例証する科学的判断の必要性について. 科学技術研究, Vol. 1, No.1, 1-8.
- 南繁行 (2012b). 電池搭載小型ハイブリッド船の魅力. 海洋水産エンジニアリング, Vol. 106, 26-37.
- Minami, S. (2003a). Designing the river cruise electric boat. *Journal of Asian Electric Vehicles*, Vol. 1, No. 1, 131-138.
- Minami, S. (2003b). The role of developing electric boats in this era. *Journal of Asian Electric Vehicles*, Vol. 1, No. 2, 483-488.

- 
- Minami, S. (2004). New opportunities for electric vehicle researches: The concept and performance of the electric boat. *Proceedings of Asian Electric Vehicle Conference*, 17-25.
- Minami, S., and Yamachika, N. (2003). Experimental performance of a model river cruising electric boat electric-powered by a fuel cell. *Journal of Asian Electric Vehicles*, Vol. 1, No. 2, 475-477.
- Minami, S., Toki, T., Yoshikawa, N., Hanada, T., Ashida, M., Kitada, S., Tsukuda, K. (2010). A newly developed plug-in hybrid electric boat (PHEB). *Journal of Asian Electric Vehicles*, Vol. 8, No. 1, 1385-1392.
- Toki, T., Yoshikawa, N., Hanada, T., Tsukuda, K., and Minami, S. (2010). Characteristics of a newly developed plug-in hybrid electric boat. *Proceedings of EVS-25*, CD-Rom.
- 面田信昭 (2002). 船舶工学概論. 成山堂書店.

(受稿：2012年10月29日 受理：2012年11月29日)