

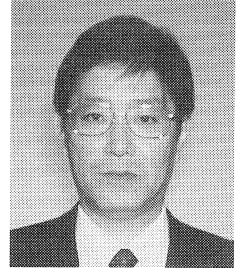
■ 展望・解説 ■

WE-NET第Ⅱ期研究開発について

WE-NET Second Phase

増 田 勝 彦*

Katsuhiko Masuda



1997年12月のCOP3等に代表されるように、近年全世界で地球温暖化対策の重要性が認識されている。その動きのひとつとして、二酸化炭素をまったく排出しない水素が将来の燃料として話題になっている。特に自動車について、21世紀の自動車は水素（エタノールなどからの改質を含む）を燃料とした燃料電池自動車が、今のガソリンを燃料としたエンジンの自動車にとってかわるという見方も出てきている。

通商産業省工業技術院のニューサンシャイン計画のもと、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の水素・アルコール・バイオマス技術開発室と大阪工業技術研究所、機械技術研究所等の工業技術院の研究所は、現在の動きに先駆けること6年、再生可能エネルギーにより製造する水素を軸としたグローバルなエネルギー製造、輸送、利用を行う水素社会の夢を描き、平成5年度から平成10年度まで、そのために必要な要素技術の研究開発とランドデザインのいわばフィージビリティスタディを実施した。これがWE-NET（World Energy-NETwork）の第Ⅰ期計画である。第Ⅰ期の中では、全体システムの設計というテーマの中で、(財)エネルギー総合工学研究所WE-NETセンターの福田健三博士をプロジェクトマネジャーに据え、WE-NET全体の総合調整と第Ⅱ期計画の構想を検討した。

冒頭に述べたように、平成5年から現在までにエネルギーを取り巻く情勢が大きく変化した。それと時を同じくして、再生可能エネルギーを始めとした新エネルギー技術が進化した。こうした技術の進展と地球温暖化に対する危機の認識により、特に太陽電池、風力発電などが世界的（主に先進国）に普及の段階に入りつつある。水素エネルギーについても平成5年当時はまだ「夢」のエネルギーであった段階から、近い将来

「現実」の世界に入り込んでくることは間違いのない段階にきている。

こうした状況変化を踏まえて、フィージビリティスタディである第Ⅰ期の段階から、WE-NET第Ⅱ期では技術開発中心にシフトしている。

1. WE-NET第Ⅱ期計画の内容と特徴

WE-NET第Ⅰ期（平成5～10年度）と第Ⅱ期（平成11～15年度）の研究開発テーマを表1で比較し、WE-NET第Ⅱ期計画の後継プロジェクトであるWE-NET第Ⅱ期計画（各研究項目の目標）を表2に、CO₂回収対応型クローズドタービン第Ⅰ期計画（平成11～15年度）の内容を図1に示す。第Ⅰ期から第Ⅱ期への移行に際して「産業技術審議会評価部会水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術研究開発評価委員会」による外部評価を受けた。第Ⅱ期の特徴は、この評価委員会の提言からも大きく影響を受けている。以下、第Ⅱ期計画の内容と特徴を第Ⅰ期からの違いを中心に述べる。

1.1 マイルストーンの設定

WE-NET第Ⅱ期の第一の特徴は、どの技術はいつまでに実用化するかを想定し、それぞれの研究開発のマイルストーンと第Ⅱ期の研究開発において到達すべき具体的な目標を決めたことである。第Ⅰ期の「全体システム」の中では第Ⅱ期計画も検討した。その結果、表2に示すように、それぞれの要素技術の実用化時期を3つに分けて（「短期」、「中期」、「長期」）そこに到達するために、WE-NET第Ⅱ期の研究開発ではどこまで到達する必要があるかをできるだけ具体的な目標として設定した。

第Ⅰ期ではここまで具体的な目標は設定していなかった。それは平成5年の時点で科学的に裏付けられた水素エネルギー社会の明確なイメージを描くことには無理があったためである。むしろ第Ⅰ期の研究開発の中では、水素の技術としてそもそもどういった技術の可能

* 通商産業省 工業技術院総務部研究開発官
（再生可能エネルギー・システム担当）

〒100-0013 東京都千代田区霞ヶ関1-3-1

表1 WE-NET計画第I期と第II期の研究開発テーマ

WE-NET第I期	WE-NET第II期
(1)全体システム	(1)水素利用技術
①概念設計	①動力発生技術(水素ディーゼルコジェネ)
②安全対策・評価技術	②水素自動車システム
③その他(導入効果推定, 国際協力)	③純水素燃料電池
(2)水素製造技術(PEM水電解)	④水素供給ステーション
(3)水素輸送貯蔵技術	(2)水素製造技術(PEM水電解)
①大量輸送・貯蔵技術(液体水素)	(3)水素輸送貯蔵技術
②分散輸送・貯蔵技術(合金)	①液体水素輸送・貯蔵技術
(4)水素利用技術	②低温材料
①水素燃焼タービン	(4)分散輸送・貯蔵用水素吸蔵合金
②その他利用技術(調査)	(5)革新的・先導的技術
(5)革新的・先導的技術	(6)システム研究
	①システム評価
	②安全対策
	CO ₂ 回収対応型クローズドタービン
	研究開発第I期

表2 WE-NET研究開発項目毎の第II期の目標

研究開発項目	第II期の目標	(参考)最終的な目標<実用化時期>
(1)水素利用技術 ①動力発生技術	水素ディーゼルエンジン(100kW級単筒機)技術の確立	水素ディーゼルエンジン(600kW級システム) 送電端効率(HHV基準):約45% 総合効率(HHV基準):85%以上
②水素自動車システム	・燃料系システムの要素技術開発 ・供給ステーションと組み合わせて技術実証	同左 <中期> <短期>
③純水素供給固体高分子型燃料電池	定置用30~50kW燃料電池 送電端効率:約45%(HHV基準) (LHV基準で約50%)	同左 <短期>
④水素供給ステーション	供給能力:30Nm ³ /h (実用規模はこの10倍)	同左 <短期>
(2)水素製造技術	・水素供給ステーション(電極面積1000cm ² , 積層型)への応用 ・積層化電解槽 電極面積:2500cm ² 電流密度:1A/cm ² 効率:90%以上	同左 <短期>
(3)水素輸送・貯蔵技術 ①液体水素輸送・貯蔵技術	(第II期での内容) 要素技術開発	液体水素輸送・貯蔵技術の確立 <長期>
②低温材料	(第II期での内容) 低温材料データベースの拡充等	低温材料の開発 <長期>
(4)水素分散輸送・貯蔵用水素吸蔵合金	有効水素吸蔵量:3重量% 放出温度:100℃以下 5000サイクル時の性能が初期の90%以上	同左 <短期>
(5)革新的・先導的技術	(第II期での内容) 革新的・先導的水素製造, 輸送・貯蔵, 利用技術の調査等	
(6)システム研究 ①システム評価	(第II期での内容) 水素導入戦略の検討	
②安全対策	(第II期での内容) 安全評価手法の確立	

注) <実用化時期>: 本研究開発において「最終的な目標」を達成した研究開発成果の実用化が期待される時期。

<短期>: 2010年頃までに成果の実用化が期待できるもの。

<中期>: 2010年~2020年頃間に成果の実用化が期待できるもの。

<長期>: 2020年~2030年頃間に成果の実用化が期待できるもの。

1. 研究開発期間 : 平成11年度 ~ 平成15年度
2. 研究開発の目的
地球温暖化問題の高まりに対応し、発電分野における二酸化炭素の排出量を大きく低減させるため、天然ガス(メタン)を中心とした燃料の酸素燃焼により、窒素酸化物を排出せずに既存のコンバインドサイクルを大きく上回る発電効率を有し、かつ、システムをクローズド化することにより、二酸化炭素を大気中に排出しない画期的なガスタービンの研究開発を実施する。また、本研究開発により水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術(WE-NET)第1期研究開発の中で実施されてきた水素燃焼タービンの研究開発成果の早期実現を図る。

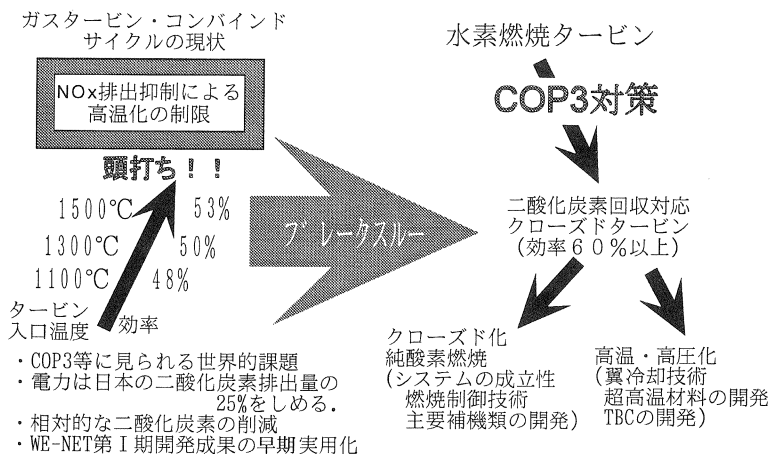


図1 二酸化炭素回収対応クローズド型高効率ガスタービン第1期研究開発基本計画概要

性があり、どのような研究が必要かということをはっきりさせる必要があった。このため、第1期は課題によっては要素技術を研究しつつも、将来の水素社会のイメージづくりと個別技術の評価を行い、第2期で取り組むべき課題を抽出するといういわゆるフィージビリティスタディ、第2期の計画づくりの段階であったと見ることができる。第1期のスタディの結果をもとにして、後ほど述べるように水素分散利用技術への重点化や水素燃焼タービンの別プロジェクトへの移行などを決めた。

1.2 CO₂回収対応型クローズドタービンの立ち上げ

さきほど、WE-NET第1期の後継プロジェクトとしてWE-NET第2期とともにCO₂回収対応型クローズドタービン(以下、CO₂タービン)のプロジェクトを挙げた(図1参照)。なぜWE-NETでないプロジェクトもWE-NETの後継として入っているかであるが、ひとことで言うと、WE-NET第1期で実施していた水素燃焼タービンの研究開発が、燃料を水素から天然ガスに替えて、クローズドサイクル、純酸素燃焼、効率目標等基本コンセプト(このコンセプトはこれまでのタービンの概念に革命をもたらすと言っても過言でないほどの革新技術であると考えている)はそのまま引き継いだこと、このCO₂タービンの研究開発の成果は将来の水素燃焼タービンの研究開発に生かしていくものであることから、WE-NETの傘の中に入るべき

プロジェクトと考えて入れている。

それでは、WE-NET第1期の中心的課題であった水素燃焼タービンをなぜ別のプロジェクトに移行したか? 水素燃焼タービンの研究開発は行わないのか? を説明しよう。水素燃焼タービンの要素技術の研究開発がWE-NET第1期において行われ、60%以上の高効率が望めることや、1700°C環境下でのタービン翼冷却技術の見通しが付くなど、多くの成果を上げてきた。しかしながら、WE-NET第1期計画の中で実施した全体システムの研究において、再生可能エネルギー起源の大量の水素が導入される時期は、2030から2040年頃であるとの試算により、大量の水素導入のための社会基盤がないという制約から早期の実現が難しいと考えられた。更に、COP3への対応に反映するために、CO₂を外に排出せず、かつ高効率なタービンを早く実現する必要もあった。このため、基本コンセプトは継承し、燃料を水素から現在でも出回っている天然ガスとしたCO₂タービンの研究開発を行うことによって、これまでの水素燃焼タービンの成果の世界に先駆けての早期実用化をめざすこととした。CO₂タービンのシステムは、高温高圧水蒸気中での天然ガス燃焼制御、非凝縮ガスを含む水蒸気用凝縮器等、天然ガスを燃料とすることによる独自の開発要素はあるが、タービン翼冷却技術、TBC(Thermal Barrier Coating)技術、クローズドシステムの成立性の検証等、水素燃

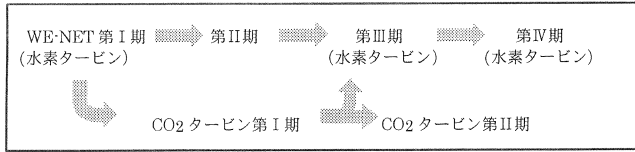


図2 水素燃焼タービンとCO₂回収クローズドタービンの研究構想

焼タービンと多くの共通のテクノロジーを持つため、2010年までの実用化をめざして、CO₂タービンの研究開発を実施することにより、早期に二酸化炭素削減に資するとともに、来るべき水素社会に必須となる水素燃焼タービンの技術蓄積を図っていくこととした。さらに、ここでの知見を応用することにより、将来の水素燃焼タービンとして研究開発を継承していく予定である(図2)。

1.3 分散利用技術の研究開発

第Ⅱ期計画の第三の特徴として、ポイントになるいくつかの分散利用技術を具体的テーマとして掲げ研究開発に着手したことである。これらの研究開発課題は、(財)エンジニアリング振興協会WE-NET推進室の岡野一清研究理事を中心に、第Ⅰ期の「分散利用技術」の中での戦略的検討から出てきたものである。

この中で、水素ディーゼル・コジェネレーションについては、第Ⅰ期から機械技術研究所における、水素・酸素燃焼メカニズムの科学的特性に基づいた燃焼制御技術をはじめとした要素技術の研究を実施してきたものを、ターゲットを明確化して研究開発に取り組むものである。

純水素利用燃料電池は、改質型でない純水素を燃料とする固体高分子型の燃料電池を研究開発対象としている。ただ、これは最近話題の自動車用のもではなく、ビルなどの分散電源用に利用することを想定している。ニューサンシャイン計画においては、改質器を用いるメタン等を燃料とする燃料電池の研究開発をしているが、WE-NETではその成果も踏まえて改質を必要としない水素を燃料とするのに適した技術、システムを確立することを目指している。

分散利用技術のテーマで大きな部分を占めるのが、最近話題の水素燃料電池自動車に関する課題である。関連する研究課題として、水素自動車システム、水素供給ステーション、分散輸送・貯蔵用水素吸蔵合金を選定した。水素燃料電池自動車のイメージとして、純水素を燃料とする固体高分子型燃料電池を動力源とし、燃料タンクとして水素吸蔵合金を積載するものを念頭

に置いた。世界における燃料電池自動車の急展開を反映し、それぞれのテーマは「短期」での実用化を目指したものにしている。このため、水素吸蔵合金の目標などは平成15年度の目標としてはかなりチャレンジングなものに設定した。燃料タンクとなる合金の研究開発、ガソリンスタンドに相当する水素供給ステーションやステーションと自動車のインターフェースについての研究開発、さらには民間企業と共同で自動車の走行試験を行うことを予定している。燃料電池を含む自動車本体については、世界の有力自動車メーカーが競争して開発しているため、WE-NET第Ⅱ期では研究開発の対象とはしていない。また、水素供給ステーションでは、この中で水素を製造するいわゆるスタンドアロン型のを対象にしている、天然ガスをステーションに供給して中で改質する方式と水を供給して中で電気分解する方式の2種類についての研究開発を考えている。特に後者については、水素製造技術のテーマで研究開発を行っている固体高分子型水電解(PEM)の研究開発における途中段階の成果をこちらに生かして、水素の大量製造技術に先駆けての実用技術の確立を目指している。

一方、第Ⅱ期における水素製造技術、水素大量輸送・貯蔵技術については、長期での実用化を目指し、今から現在のフェーズに応じた着実な研究開発を行い今後の研究開発に結びつけることにしている。

1.4 段階的水素導入へ向けて

上記で述べたように、水素分散利用技術の研究開発に重点的に取り組み短期間での実用技術の開発を目指し、水素の大量製造、大量輸送・貯蔵、大量利用技術は長期的な実用化に向けて取り組むこととしている。1.2でも述べたように、水素が大量に必要な水素燃焼タービン(500MW規模を想定している。)が実用化するには水素供給の社会的基盤が整備される必要があるが、それには数十年単位の時間を要する。また、水素が使われていない社会から一足飛びにそこへ行くことは考え難い。水素が燃料として社会に浸透していく過程は、例えば工場からの副生水素や天然ガスを改

質した水素を利用した、燃料電池を始めとした分散電源から始まるであろう。多地点で独立に水素が使われ、それが面的に広がり、徐々に社会に浸透したあとの必然として水素の大量供給体制の基盤が整うことにより真の水素エネルギー社会に移行していくものと考えられる。第Ⅱ期の研究開発計画を見ていただくと、このようなシナリオの下で計画されたものであることがおわかりいただけるのではないだろうか。別の観点からみると、WE-NETは「夢」を追う段階から「現実」を目指す段階に来たのである。

2. WE-NETの基本的考え方

地球にやさしい再生可能エネルギーは、残念ながら地域に偏在する、気象条件に左右される、密度が低い等それぞれに固有の欠点がある。再生可能エネルギーをメジャーなエネルギー源として使うためには、これらの欠点を補うため、何らかの形で貯蔵し、輸送し、高密度で利用する必要がある。このためには、人類は水素というものを利用していかなければならない。本稿では、WE-NETが短期での利用のみに力を入れ始めたこととされる方もいるだろう。しかし、WE-NETでは最終的には水素をメジャーな二次エネルギーとして使用する水素社会を念頭に置いていることに変わりはない。水素が段階的に社会に浸透することによって、将来の真の水素社会に到達する現実的な道筋に沿った研究開発を実施することにしたものである。この意味で、WE-NETは「夢」から「現実」に方向転換したのである。短期での分散利用技術の実用化はその第一歩である。

3. これからの水素関連技術

WE-NET第Ⅱ期では水素の製造、輸送・貯蔵、利用にわたる広範な技術の研究開発を実施する。水素エネルギーに関してここまで多くの研究開発を実施している国は世界にそう多くない。このため、燃料電池を中心とした水素エネルギーをめぐる国際的な場における議論にWE-NETは欠かせない存在となっている。そのひとつの現れとして、2000年に予定されているHYFORUM2000という、ドイツの万博に合わせて開催される水素に係わる世界の主な学界、産業界が参加

する国際会議では、WE-NETが中心となり、「日本の日」を主催することとしている。また、欧米を中心に水素をめぐる世界の石油会社の戦略においても、WE-NETの存在感は大きいと言われている。逆にWE-NETの枠組みが我が国になれば、こうした水素をめぐる世界の動きに取り残されることであろう。このように、WE-NETは研究開発以外の面でも目に見えない重要な働きを担っているのである。

このようにWE-NETが世界に大きいプレゼンスを示せるのは、WE-NETに参加された、あるいはされている民間企業や大学の方々のご努力は言うまでもないが、世界中の研究者等の研究があって始めてできたものである。

中でもWE-NETが始まる前から現在に至るまで工業技術院の各研究所において育てられた独創的な技術シーズは、WE-NETの技術の土台となっている。ほんの一部であるがその例を挙げると、水素自動車については、今でこそ世界の有力メーカーが競って開発している。ところが何と大阪工業技術研究所では1970年代始めにハイブリッド電気自動車ではあるが、燃料電池を用いた車を走らせているのである。このほか、先ほど述べた機械技術研究所における水素エンジン（内燃機関）の研究、大阪工業技術研究所においては、水電解の心臓部である高分子膜の加工のための無電解メッキ技術の革新、物質工学工業技術研究所や大阪工業技術研究所における革新的水素吸蔵合金の研究など、WE-NETの基になっている技術には枚挙にいとまがない。このような基礎研究段階のみならず、研究開発の各フェーズにおいて出てくる科学的課題への対応も含めて、これまでの工業技術院各研究所の活躍がなければWE-NETは存在しなかった。

2001年4月には行政改革の一環として工業技術院の国立研究所は独立行政法人化し産業技術総合研究所としてスタートする。また現在、政府の科学技術基本計画の改定が進みつつあり、我が国でもより良い研究環境の実現に向けた努力がなされてきている。こうした動きを追い風としたより知的に活性的な研究環境の中で、将来の新たな水素エネルギー技術のシーズが生まれ、それを大きく育てることにより、より良い水素社会が早く実現することを期待したい。