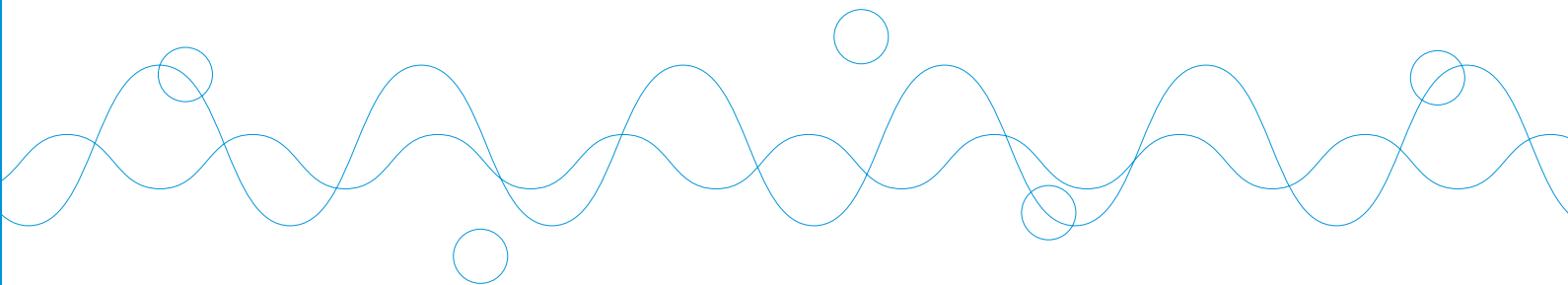


ATTAATC A AAGA C CTAAC TCTCAGACC
AAT A TCTATAAGA CTCTAACT
CTCGCC AATTAATA
TTAATC A AAGA C CTAAC TCTCAGACC
AAT A TCTATAAGA CTCTAAC
TGA C CTAAC TCTCAGACC

戦略プロジェクト エネルギーセキュリティを達成する ナノ構造制御材料研究開発

0101 000111 0101 00001
001101 0001 0000110
0101 11
0101 000111 0101 00001
001101 0001 0000110
0101 11
00110 11111100 00010101 011



Executive Summary

現代社会は、化石エネルギーによって支えられ、ここ100年間とどまるところを知らずに拡大を続けてきた。この化石燃料消費傾向は、経済発展途上の人口大国の中国をはじめとするBRICs等の現状の高い経済伸び率から見て、更に加速するおそれがある。

一方、化石燃料の燃え滓としてのCO₂の増加は著しく、今や地球規模の大きさで大気温に影響を与えるようになった。温かい大気は水分を余分に含むことが出来るので乾いた大地はより乾き（砂漠化）、雨や雪の降りやすい所はより多くの水で溢れるようになる（世界的な各地の水害）。この傾向は、上記化石燃料消費の加速的増加に伴い、さらに増長されることになる。このような状況下、エネルギー問題には以下の基本的認識が必要である。

- ・ 人類の効用（経済活動量、生活の質）レベルに直結する。
- ・ 資源制約、環境制約の両方を視野に入れる。
- ・ 解決の鍵は技術である。
- ・ 研究開発、導入普及、関連インフラ整備に長期の期間を要する。
- ・ 実社会対応のためには多様化が必要である。

現状の我が国を概観すると一次エネルギーの供給比率は化石燃料比率が圧倒的に多く81%を占めている。新エネルギー技術開発には国としてもかなりの資源を投入してきたが、再生可能エネルギートータルとしてみても6%と当面メジャーにはなりえない。一方、原子力は立地問題も絡み急激な伸張には不安が残る。このためここ当面は化石燃料を主軸にその徹底的な省エネルギーと省資源を行って環境負荷低減をはかり、再生可能エネルギー、原子力の拡張を進めていくことが現実路線である。従って我が国のエネルギーセキュリティを確保するためには、徹底した省エネルギー・省資源を図る炭化水素を原料とする革新的なエネルギー変換技術開発を早急に行う必要がある。

本研究開発提案の「エネルギーセキュリティを達成するナノ構造制御材料研究開発」を実施することにより実現する、コプロダクション型エネルギー・物質同時生産システムは、産業間を連携した大幅な省エネルギー・省資源を図る炭化水素を原料としたエネルギー変換・物質生産システムであり、エネルギー資源争奪戦からの回避と地球温暖化防止の両面から、エネルギーセキュリティに対処する事が可能となる。原材料には、低品位石炭、重質残渣油、有機廃棄物（廃プラスチック・生ゴミ等）、バイオマス等あらゆる炭化水素源、すなわち化石資源から循環再生資源までをフレキシブルにフィードとすることが出来る。低位、又はマイナスバリューフィード（ゴミなど本来処理するためには費用が発生するもの）から出発した高付加価値化である。プロダクトはコプロダクション、すなわち電気、燃料油、水素を主成分とした燃料ガス等のエネルギー源、C₁ (C₂) あるいはオレフィン等の化学原料で、これらのプロダクト

ミックス（製品の構成比）は需要により可変である。これによりエネルギーセキュリティとしての代替性・互換性を備え、その時点時点の国内におけるエネルギー安定供給を柔軟に確保し得る最適、且つロバストなエネルギーシステムが実現されることになる。この道筋の究極的な姿として、ゼロエミッションや、エネルギー自立の道も可能となり、アジア・世界のエネルギー資源・環境問題への貢献をはたす。

資源制約と環境制約の隘路の中にあつて、これまでのように、ナノテクノロジー・材料技術を使ってエネルギー・環境の技術に応用していくという技術から出口を求める発想ではなく、エネルギー・環境の革新的な解決をするためにナノテクノロジー・材料技術の基礎から応用までの研究者を総動員して研究開発をおこなうという発想が重要である。つまり、出口の視点から演繹的に革新技術を求めていく目的志向の発想が今求められているのである。

本提案は、2006年6月17日に開催された「エネルギー・環境用材料技術戦略」検討会で議論された内容を元に、独立行政法人科学技術振興機構（JST）研究開発戦略センター（CRDS）田中グループ内での討議により作成されたものである。

Contents

Executive Summary	i
1 提案する研究の内容	2
2 研究投資する意義	4
3 具体的な研究開発課題	7
4 研究開発の推進方法	13
5 科学技術上の効果	15
6 社会・経済的效果	17
7 時間軸に対する考察	19
8 検討の経緯	20
Appendix	23
1 参考文献	
2 コプロダクションシステム応用事例	

1
提案する
研究の内容

2
研究投資する
意義

3
具体的な
研究開発課題

4
研究開発の
推進方法

5
科学技術上の
効果

6
社会・経済的
効果

7
時間軸に対する
考察

8
検討の経緯

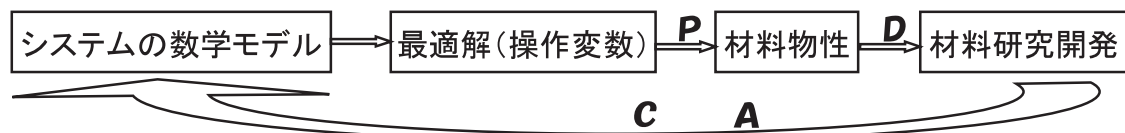
Appendix

戦略プロジェクト
エネルギーセキュリティを達成する
ナノ構造制御材料研究開発

1 提案する研究の内容

エネルギーセキュリティーを達成するナノ構造制御材料研究開発とは、環境調和型循環社会達成に向けた、コプロダクションシステムに用いることの出来るナノ構造で制御された材料を、システム最適材料設計に沿って目的志向的に行う研究開発のことである。

ここでシステム最適材料設計に沿った目的志向型研究開発とは、システムを構成する各プロセスに必要な材料をそれぞれ独立に開発するのではなく、システム全体が最適となるような各プロセスの運転条件を求め、その運転条件を満足する最適材料を開発することである。このため図1に示すようにシステム最適化のための数学モデルを立て、この数学モデルを解くことにより得られるシステム全体が常に最適となる各プロセス操作変数（温度、圧力、流量、組成等）から材料設計して要求材料物性を求め、その要求仕様に沿って目的志向的に研究開発を行う。



PDCA: Plan Do Check Actionのサイクル

図1 目的志向型研究開発

コプロダクションシステムとは図2に示すようにエネルギー（電気、燃料ガス、燃料油）と化学原料物質を同時に生産出来るシステムで、その主要ユニットプロセスは、

- ①原燃料多様化（低品位炭化水素原料）対応可能なガス化炉プロセス、
- ②電力生産の高温固体電解質燃料電池（SOFC）
- ③物質生産プロセス（具体的には燃料油や化学原料生産のフィッシャートロブシュプロセス（FT）やC1（C2）製造プロセス）

であり、原料としては原燃料多様化の観点から当面、

低品位炭化水素原料

- ・化石燃料由来：石炭（低品位）、石油残渣油
- ・循環原料由来：廃棄物（廃プラ、生ゴミ等）、バイオマス

を考慮するが、将来的には環境調和型循環社会達成にむけ循環原料由来のみを念頭におく。

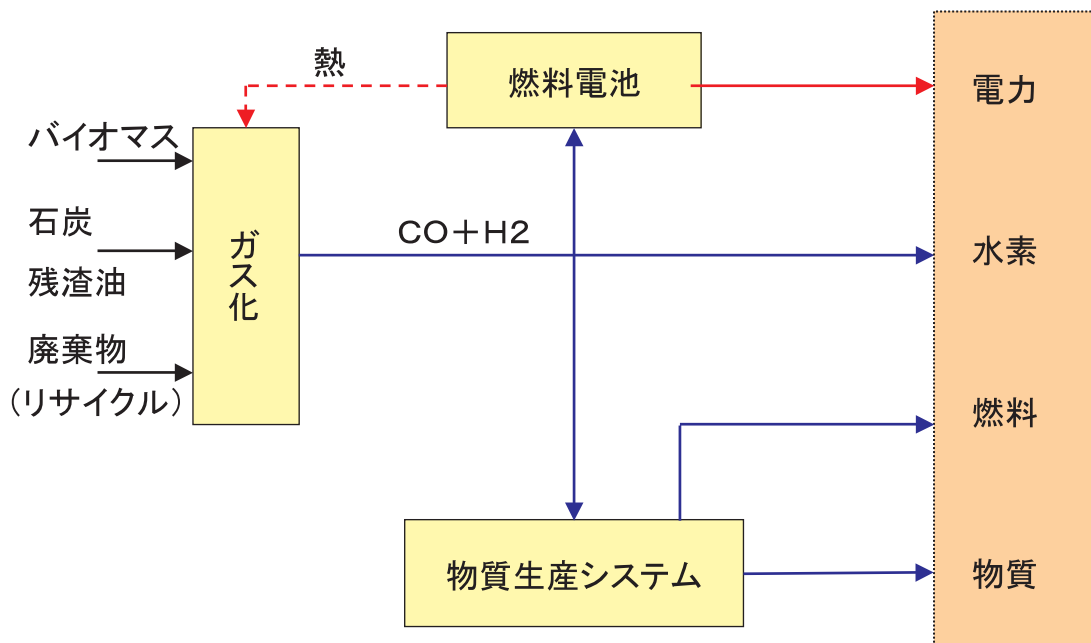


図2 コプロダクションシステム

本研究開発提案の目的は図1に示したように、コプロダクションシステムの数学モデルを立て、その最適解（温度、圧力、流量、組成等システムの最適運転条件）を求め、その最適運転条件を満たす各プロセスの要求材料物性値を目標に、材料研究開発をすることである。さらに、少なくとも一年に一度は各研究の途中成果の物性値と、最適解からの各要求物性値のギャップ分析と数学モデルの修正を行い、材料研究開発の進捗管理と研究開発計画の見直しを行う（PDCAサイクルによる研究推進と進捗管理：Plan Do Check Actionのサイクル）。

1 提案する
研究の内容

2 研究投資する
意義

3 具体的な
研究開発課題

4 研究開発の
推進方法

5 科学技術上の
効果

6 社会・経済的
効果

7 時間軸に対する
考察

8 検討の経緯

Appendix

2 研究投資する意義

人間の活動はここ100年間とどまるところを知らずに拡大を続けている。この活動は地球上に偏在している化石エネルギーによって支えられている。これからの世界を展望すると、過去に比較的エネルギー使用量の少なかった経済発展途上の人口大国である中国やインドをはじめとしてブラジルなどBRICsが、現状の高い経済伸び率から見て資源、エネルギーなどほとんど全ての物を飲み込んでしまう恐れがある。従って最近の原油価格の高騰に見られるように、エネルギー資源の値段はますます高くなっていく。

一方、化石燃料の燃え滓としてのCO₂の増加は著しく、今や地球規模の大きさで大気温に影響を与えるようになった。温かい大気は水分を余分に含むことが出来るので乾いた大地はより乾き（砂漠化）、雨や雪の降りやすい所はより多くの水で溢れるようになる（世界的な各地の水害）。

このように、エネルギー問題は資源制約、環境制約の両方を視野に入れた検討が必要であり、経済産業省資源エネルギー庁はエネルギー分野の技術戦略マップを、2100年までの長期的視野から描き出した。

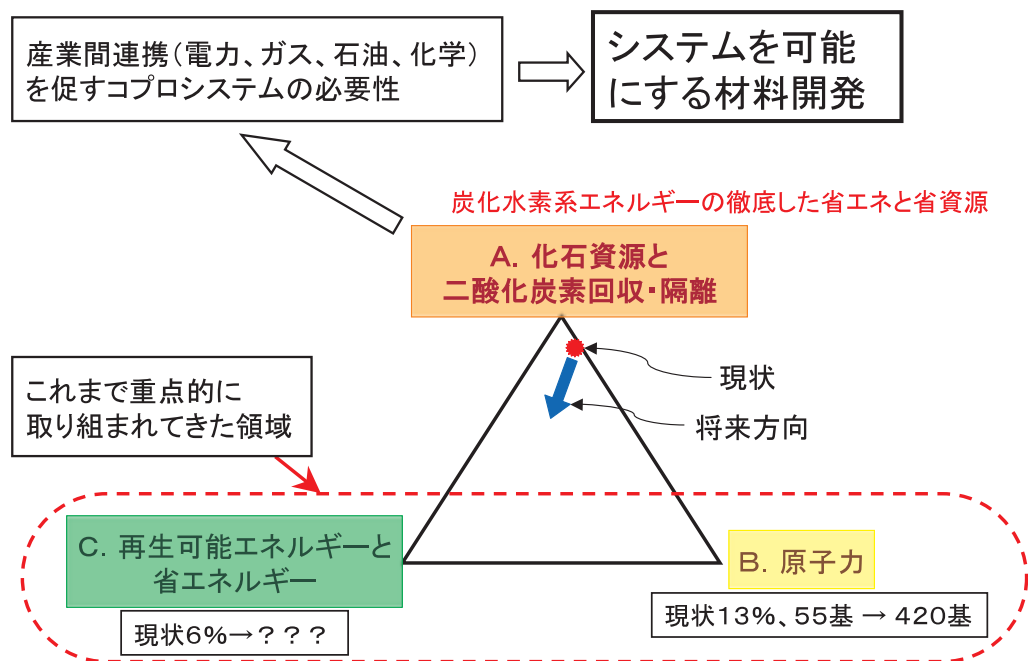


図3 一次エネルギー構成の3ケース

それによると、

“技術シナリオとしては、

ケースA：石炭等の化石資源と二酸化炭素回収・隔離の最大利用ケース

ケースB：原子力の最大利用ケース

ケースC：再生可能エネルギーの最大利用と究極の省エネルギー実施ケース

という、極端なエネルギー構成によるケーススタディーを行った。

図3に示す3つのケースは、一次エネルギー構成トライアングルの各頂点に近い極端な社会を想定するものである。現状の我が国の一次エネルギー供給比率は化石燃料が81%、再生可能エネルギーが6%、原子力が13%の構成であり再生可能エネルギーがメジャーになるには相当の期間を要する。また原子力については一次エネルギーを全て賄うとすると、現状の原子力発電プラント55基から420基に増設する必要があり立地問題から相当に無理があるろう。

従って我が国においては、短中期的には化石資源を利用しつつ、必要に応じて炭酸ガスの回収・隔離により急激な気候変動を回避し、長期的に見れば再生可能エネルギーを最大限活用しつつ、原子力を安定的に運転していくことが持続的な社会としては望ましい組み合わせと考えられる（ケースAから段階的なケースCへのシフト+ケースBの組み合わせ、図中青い矢印の方向）。ただし、このような各ケースの評価、組み合わせは今後の状況等によって変わり得るものであり、技術的な備えとしては、それぞれの研究を確実に進めていくことが重要である。”

としている。

このような状況下において、これまで各産業、各企業はそれぞれ個別には十分な省エネ対策がとられてきたものの、今後ともクリーンで持続可能なエネルギー社会実現のためには、さらにもう一段上の大幅な改善が期待される上流のバルク産業間連携（電力、ガス、石油、化学）による物質・エネルギーフローの最適化により徹底した省エネルギー、省資源を図っていくことが重要となり、以下の点を考慮したシステムが求められる。

- ① エクセルギー損失（回収不能エネルギー）が発生する燃焼利用を最小化した製造システム
- ② 発生熱は最大限回収可能なシステム
- ③ フィードには未利用、低品位原料を利用し、リサイクル原料に対しても対応可能とするシステム

従ってバルク産業間を連携し上記3点を考慮した、炭化水素系をベースとするエネルギーと物質の最適活用を目指す生産形態、コプロダクションシステムが選択肢の一つとして重要な位置づけとなる。

本提案の「エネルギーセキュリティを達成するナノ構造制御材料研究開発」を実施することにより実現する、コプロダクション型エネルギー・物質同時生産システムは、今後ともエネルギー・物質の中核であり続ける炭化水素系（図3のA領域）に焦点を当て、上流バルク産業間の連携による徹底した省エネ・省資源を実現する。システムの原材料に低品位石炭、重質残渣油、有機廃棄物（廃プラ・生ゴミ等）、バイオマス等あらゆる炭化水素源、すなわち化石資源から循環再生資源までをフレキシブルにフィードとすることが出来る。低位、又はマイナスバリューフィードの高付加価値化である。プロダクトはコプロダクション、すなわち電気、燃料油、水素を主成分とした燃料ガス、C₁（C₂）あるいはオレフィン等の化学原料で、これらの

プロダクトミックスは需要により可変である。これによりエネルギーセキュリティとしての代替性・互換性を備え、その時点時点の国内におけるエネルギー安定供給を柔軟に確保し得る最適、且つロバストなエネルギーシステムが実現されることになる。この道筋の究極的な姿として、ゼロエミッションや、エネルギー自立の道も可能となり（図3のA→C）、エネルギー資源争奪戦からの回避と地球温暖化防止の両面から、エネルギーセキュリティに対処する事が可能となり、アジア・世界のエネルギー資源・環境問題への貢献をはたす。

一方、「エネルギーセキュリティを達成するナノ構造制御材料研究開発」を実施することによる科学技術的効果は、図4に示すようなナノテクノロジーをベースにした要素技術研究開発が急速に進展し、それらの技術を軸にした幅広い技術の進歩も期待される。ナノテクノロジーはエネルギー・環境のみならず、安全、情報・通信、輸送・社会基盤、医療・食料、生活・文化などあらゆる分野に波及し、様々なイノベーションを生み出す分野融合を促進する基盤技術である。

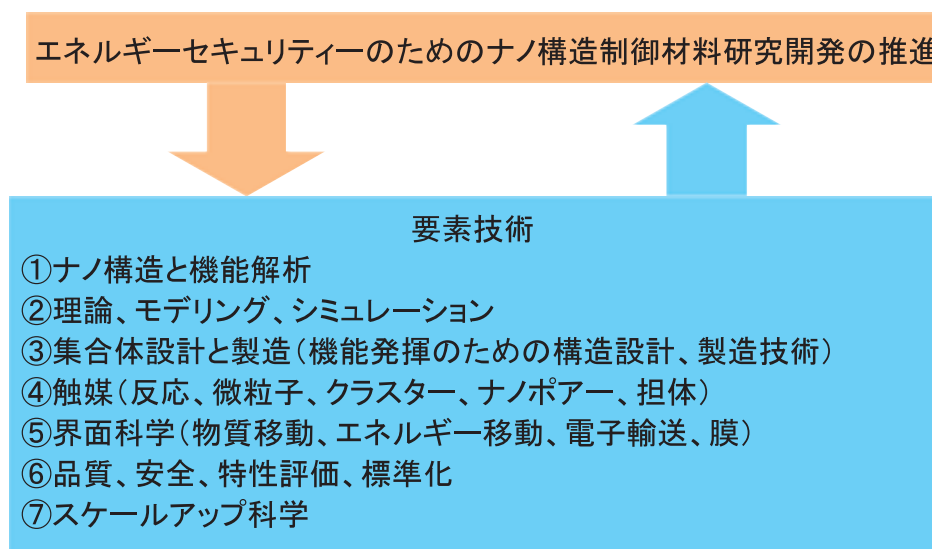


図4 ドライブされる要素技術

尚、米国における化石燃料関連の技術開発では、クリーンコール技術開発に今後5年間で20億\$の投資をしていく予定との発表があり、このうち石炭のガス化発電と水素製造の実証プラント製造に10億\$投資の予定である（フューチャージェンプロジェクト）。

3 具体的な研究開発課題

「エネルギーセキュリティーを達成するナノ構造制御材料研究開発」は、図5に示す3つの研究開発プロセスよりなる。

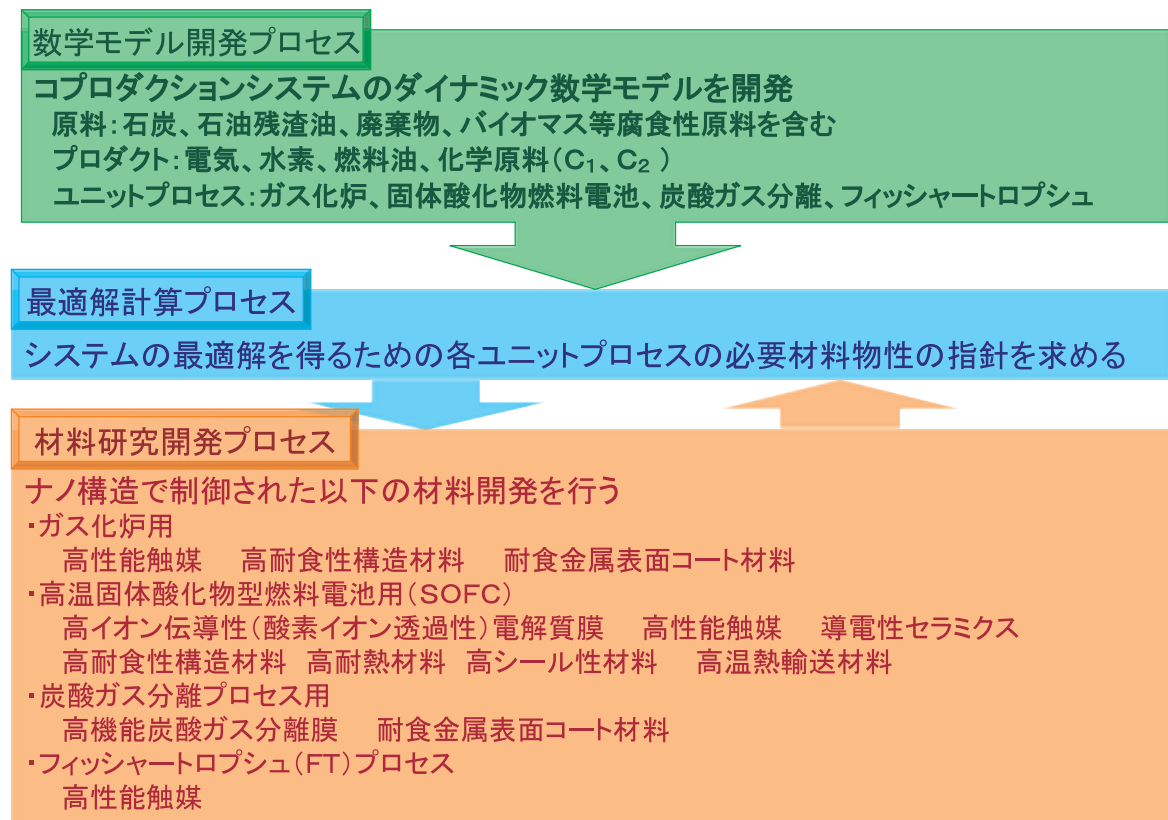


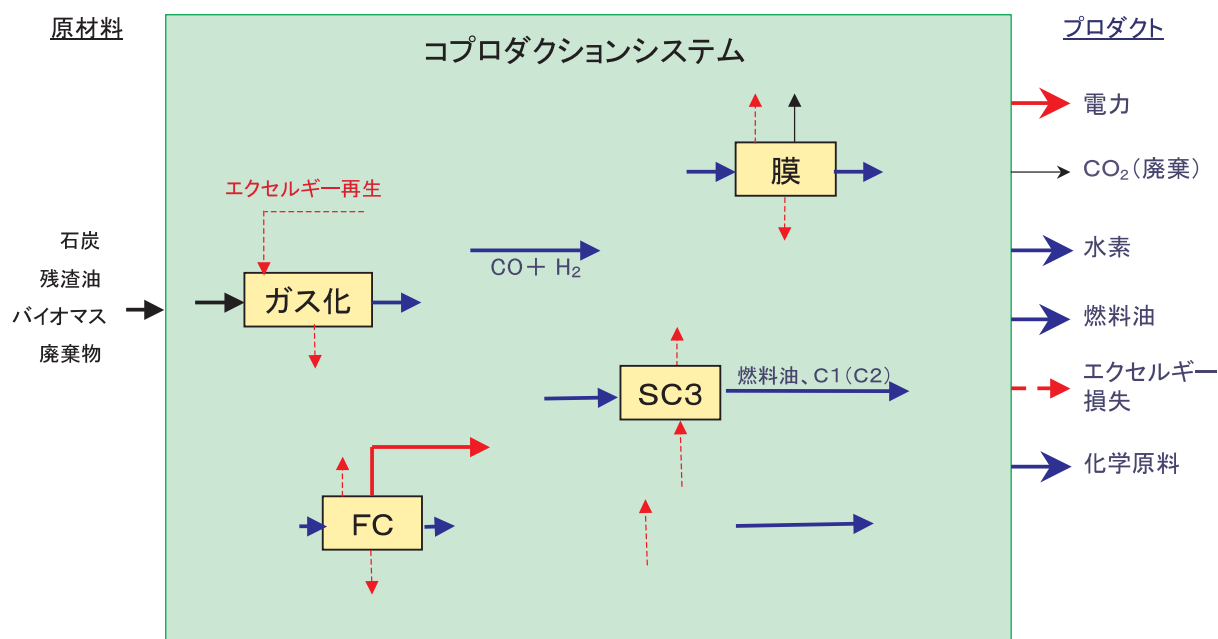
図5 研究開発プロセス

3-1 数学モデル開発プロセス

本提案のように革新的な技術開発にとっては、材料技術の延長線上に出口が見えるというリニアモデルの発想ではなく、先ず理想の出口を固定してそこから材料技術を求めていくというノンリニアモデルの発想が必要である。そのため開発の最初のプロセスは、出口を固定するコプロダクションシステムの数学モデルを確立することである。

図6に示したように数学モデルの要素は、各ユニットプロセス、物質のフローとエネルギーのフローよりなり、エネルギーのフローは単独で存在せずに物質のフローの中に存在し、温度と圧力より一意的に決まる。各ユニットプロセス内の物質のフローはそれぞれの操作変数(温度、圧力等)の従属変数である。ユニットプロセスには、高温ガス化炉、高温固体電解質燃料電池(SOFC)、炭酸ガス分離プロセス、燃料油やC₁(C₂)化学の原料生産のフィッシャートロプシュプロセスが上げられる。出発原料は石炭、石油残渣油、廃棄物、バイオマス等がフィード可能となる。

目的評価関数には、設備コスト、運転コスト、プロダクトミックス価値、エクセルギー損失等々色々考えられるが、システム全体のエクセルギー損失が絶対不変で公平な評価として用いることが出来る。図6に示した各ユニットプロセス間のつながりは、最適解計算過程の中で最適プロセスフローとして決定される。



エクセルギー: 回収可能なエネルギーで、単独に存在するのではなく実際には物質の流れに乗って存在する

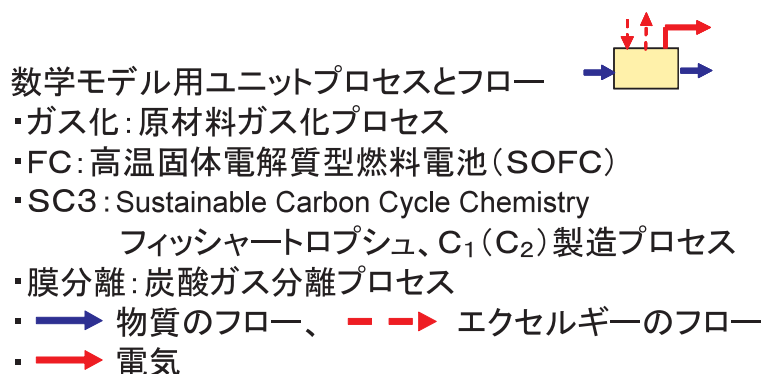


図6 コプロダクションシステムの各要素

3-2 最適解計算プロセス

この研究開発プロセスは、3-1で得られた数学モデルの目的評価関数を最小にするための計算過程で、目的評価関数の最小値を達成するための、すなわちエクセルギー損失を最小にするための各ユニットプロセスの操作変数（運転条件）が求められる。

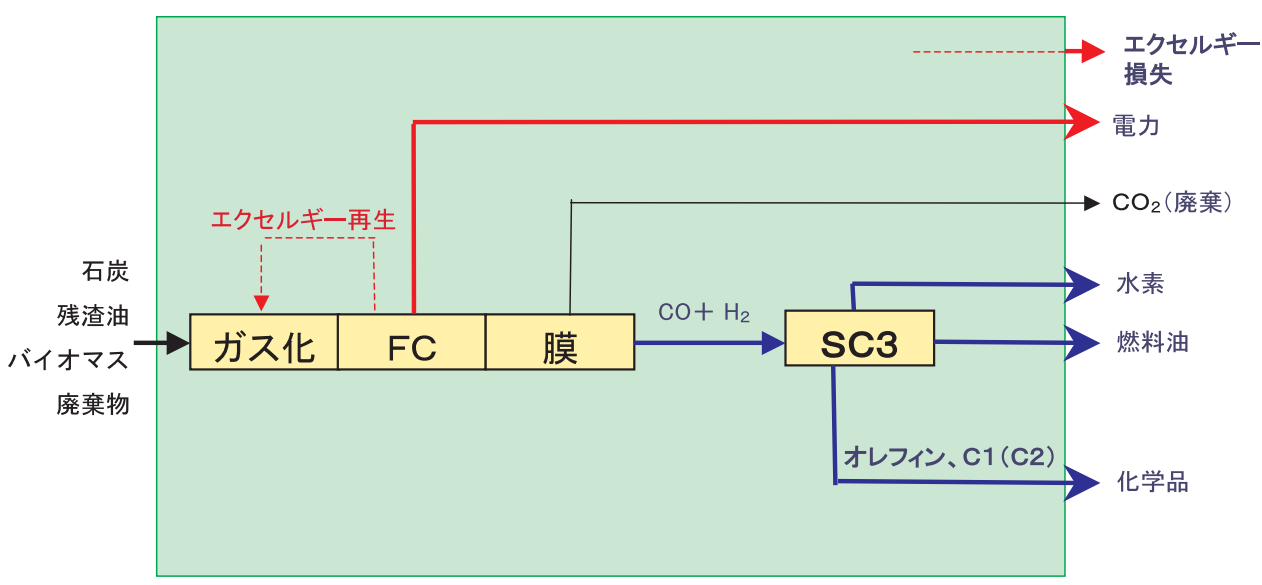


図7 コプロダクションシステムの最適解の例

図7にコプロダクションシステムの最適解のフローを例示する。このときの各操作変数（温度、圧力）と物質のフローの流量、組成、腐食流体濃度から、ユニットプロセスに要求される材料物性値が求まるが、図8に示すように各材料の耐用年数等の考慮をしたシミュレーションが必要であろう。

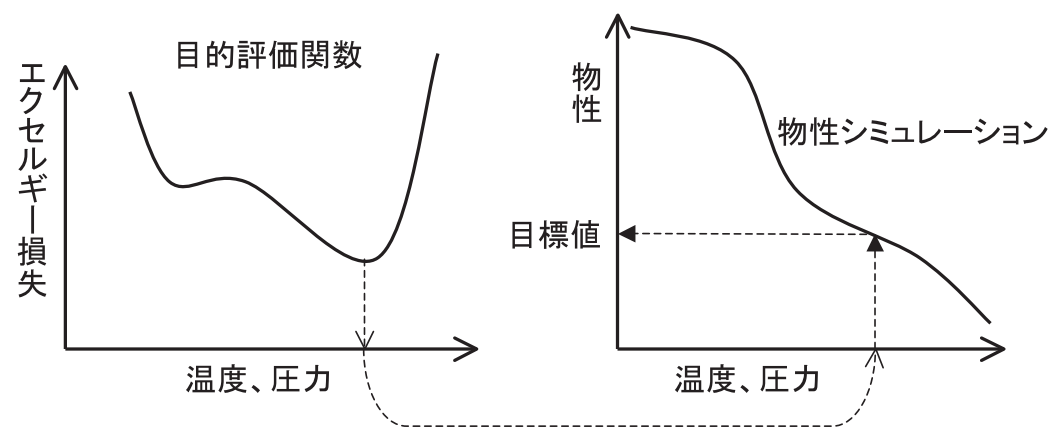


図8 材料物性予測

3-3 材料研究開発プロセス

このプロセスは、材料の研究開発プロセスで、3-2で求められたそれぞれのユニットプロセスの、個々の装置で要求される材料物性値をターゲットとして材料の研究開発を進めることになる。図5の材料研究開発プロセスの中に具体的な必要材料が例示してある。

① 構造材料

構造材料分野は非常に歴史があり、これまで伝統的に材料ごと、用途ごとの離散型研究となっている。従って目的志向型研究では、適材適所の視点および総合的な視点が両立する研究アプロ

一チが必要となる。適用する環境でのパフォーマンスを常に意識することになり、この意識を取り入れた研究体制が、様々なエネルギーの問題の解決にも役立つと考える。ただ、目的志向型基礎研究では、同分野の研究者を複数集めるより、むしろ異分野研究者をできるだけ多く取り込んだ、パフォーマンス追及のための研究体制が望まれる。

材料中に破壊が始まったとき、ナノの粒子の間を亀裂が進むと非常に大きな抵抗が起きることを利用して破壊を止めれば、構造体として力を支えることができる。すなわち、ナノテクの適用が20世紀には成功しなかった強度と靱性を両立させることになると期待できる。キーワードは超軽量、超高温、超耐環境等、超がつくと必ず派生技術が起きていることにも注目したい。

②固体酸化物電解質

ナノサイズの薄膜化によるイオン伝導度向上に関する期待は、表面の緩和現象として薄膜の格子欠陥濃度が非常に向上することにある。酸素イオン伝導体は従来、低温下に対し負の効果を示すのだが、ランタンの代わりにゲルマニウムを置いた新しい材料では、酸素イオン伝導が低温で大きく向上する。特に、伝導度の酸素分圧依存性がほぼゼロのため、同じ材料でも膜厚に依存して伝導度が上がり、数十ナノレベルの領域でほぼ飽和する。さらに、ランタンゲルマネートにランタンガレートの膜を二つ組み合わせた結果、同じ膜厚で組み合わせの上下を変えることで、伝導度が変わることがわかっている。つまり、ナノ効果による異常酸素伝導を利用すれば従来にない低温でも大きな酸素イオン伝導を示す材料ができることを示している。このようにナノレベルの物質・構造制御により更なる特性向上を目指す。

③膜

膜に関する研究アプローチとしてまず、ナノテクノロジーのスケールを1~100ナノと狭義に設定せず、1万ナノ、100万ナノとフレキシブルに考えることが必要である。さらに、ナノ構造を考えたとき、表面、また表面の周りの雰囲気も重要な視点となる。さらに分離方法や機構、構造等の理論を使ったシミュレーションおよび原理原則は、物理学、数学の研究者とのコラボレーションで進めることが効率的である。

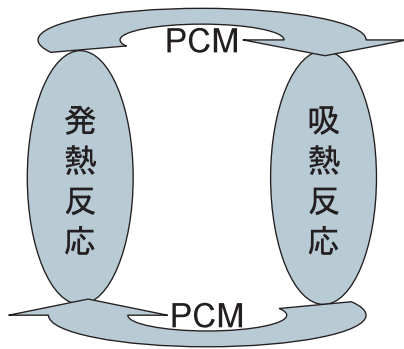
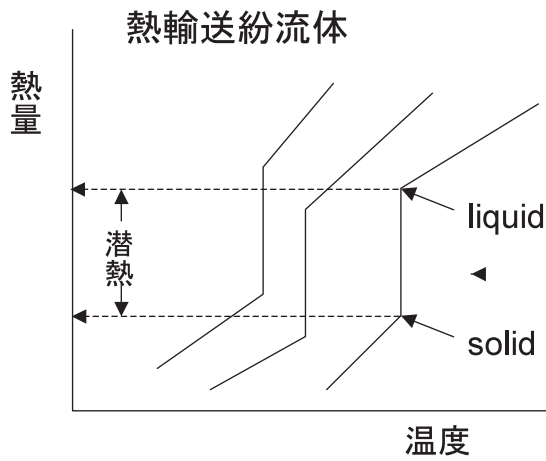
④触媒

ナノ構造制御触媒とは、均一系と不均一系の触媒科学の概念が融合し、ナノ構造を制御した触媒といえる。これまで実用化が進んでいる固体触媒、金属触媒、原子レベルで制御された分子触媒、一部で実用化された生体触媒等があるが、更なる高機能化を狙うためには、ナノ構造から制御された触媒という新しい概念を導入することが必須である。

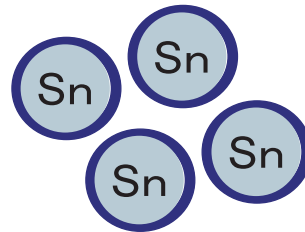
⑤高温熱輸送材料

高温の熱輸送媒体はこれまで輸送材料の顕熱を利用しているため熱輸送効率が悪くエクセルギーロスを発生していた。しかし図9に示すようにカプセル型PCM (Phase Change Material)を開発することにより物質の相変化潜熱を利用できることにより熱輸送効率が格段に良くなるこ

とが期待できる。この相変化温度は金属アロイを利用することにより任意に設計できる。またカプセル粒径を微細化することにより伝熱効率、流動性を上げることが可能である。さらにカプセル表面に触媒機能を持たせることにより「熱媒体+触媒」粉体として利用価値が極めて有用なものとなる。応用例としては流動接触ガス化炉の熱媒体兼触媒として効果を発揮するものと期待される。



ナノカプセルPCM



Sn、Pb、Zn、Cu、…… alloy

熱媒体+触媒機能

PCM : phase change material

図9 熱輸送粉流体

これらの各研究開発プロセスの流れは単に数学モデル開発プロセス (3-1) →最適解計算プロセス (3-2) →材料研究開発プロセス (3-3) と流れていくのではなく、図10に示すように、少なくとも一年に一度は各研究途中成果の物性値 (3-3) と、最適解からの各要求物性値のギャップ分析を行い (3-2)、最初に固定した数学モデルの修正と材料研究開発計画の見直しを行う (PDCAのサイクル)。このような反復チェックプロセスをへて各材料はバランスよく開発されることになり、全体の「コプロダクション型エネルギー・物質同時生産システム」は最適なシステムとして現実のものとなっていく。途中必要に応じて、目的 (評価) 関数をエクセルギー損失ミニマムから、設備コスト+運転コストに変更して、Min (コスト) から求められる要求物性値間のギャップ (エクセルギー損失ミニマムから求められる物性値とのギャップ) を知ることも必要である。

1 提案する
研究の内容

2 研究投資する
意義

3 具体的な
研究開発課題

4 研究開発の
推進方法

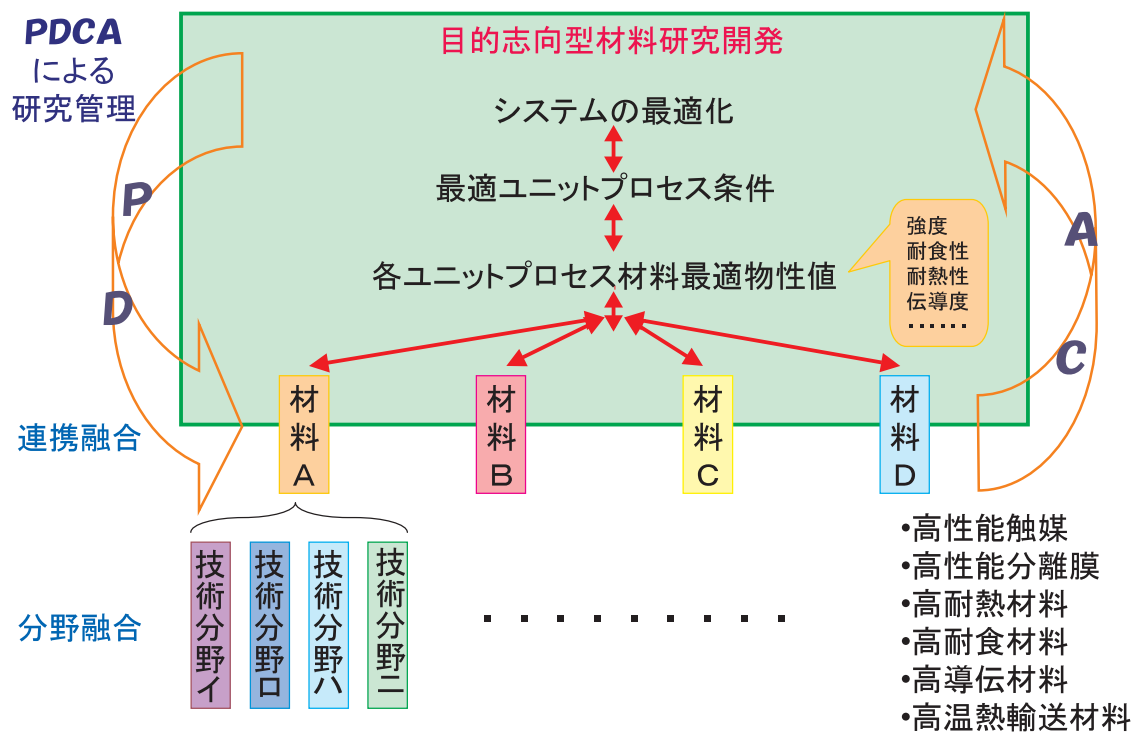
5 科学技術上の
効果

6 社会・経済的
効果

7 時間軸に対する
考察

8 検討の経緯

Appendix



PDCA: Plan Do Check Actionのサイクル

図10 材料研究開発プロセス

4 研究開発の推進方法

材料研究開発にはナノテク・材料の知識のみならずあらゆる科学技術の分野融合が不可欠である。これは材料研究開発プロセス（3-3）の中でも述べたように、同分野の研究者を複数集めるより、むしろ異分野をできるだけ多く取り込んだ、パフォーマンス追及のための研究体制が望まれる。

組織的観点からの推進体制としては図11に示したように、産・学・官共同研究開発プロジェクトとして研究開発コンソーシアムを設立して実施することが望ましい。各ユニットプロセスの操作変数と物質フロー、材料物性についての解析は産業界の知が不可欠であり、数学モデル開発、材料研究開発については公的研究機関、大学の参加が不可欠である。また実施場所としては、3-3 材料研究開発プロセスの①構造材料で述べたように集合型と分散型の組み合わせによる実施が必要である。

・ 集合研究開発

充実したサービスと共同研究の場を提供できる共同利用設備のある参加研究機関の一つを拠点として集合研究の場とし、研究開発計画、最適化の設計、材料の試作、物性測定、等を実施。

・ 持ち帰り研究開発（分散型）

各材料研究開発を実施。材料研究開発の途上で出てきた新たな知見、現象等イノベーションシーズの目的外事象に対しても30%程度は研究開発費の目的外使用インキュベーション研究開発を奨励する。

また、このような目的志向型研究開発はプロジェクトリーダーの存在が極めて重要で、リーダーに全ての権限を与えて、強いリーダーシップのもと研究開発を遂行すべきであり、このリーダーの人選がプロジェクトの成否を左右するといっても過言ではない。さらにプロジェクト管理の機能強化からプロジェクトマネージャーを設置して予算管理の徹底をはかることが望ましい。

1
提案する
研究の内容

2
研究投資する
意義

3
具体的な
研究開発課題

4
研究開発の
推進方法

5
科学技術上の
効果

6
社会・経済的
効果

7
時間軸に対する
考察

8
検討の経緯

Appendix

- ①産・学・官共同研究開発プロジェクトとして研究開発コンソーシアムで実施
- ②拠点での集合研究開発と各参加研究機関施設での持ち帰り研究開発の組み合わせ
 - ・集合研究開発ではターゲットのある計画的な研究開発
 - ・持ち帰り研究開発では研究過程で導出される新たなシーズ(イノベーション)のインキュベーション奨励(30%ルールを導入:プロジェクトの30%以内は目的以外研究許容)
- ③プロジェクトリーダー、プロジェクトマネージャーの設置によりプロジェクト管理の徹底
 - ・プロジェクトリーダーは強いリーダーシップでプロジェクト進捗管理
 - ・プロジェクトマネージャーはプロジェクト予算管理の徹底

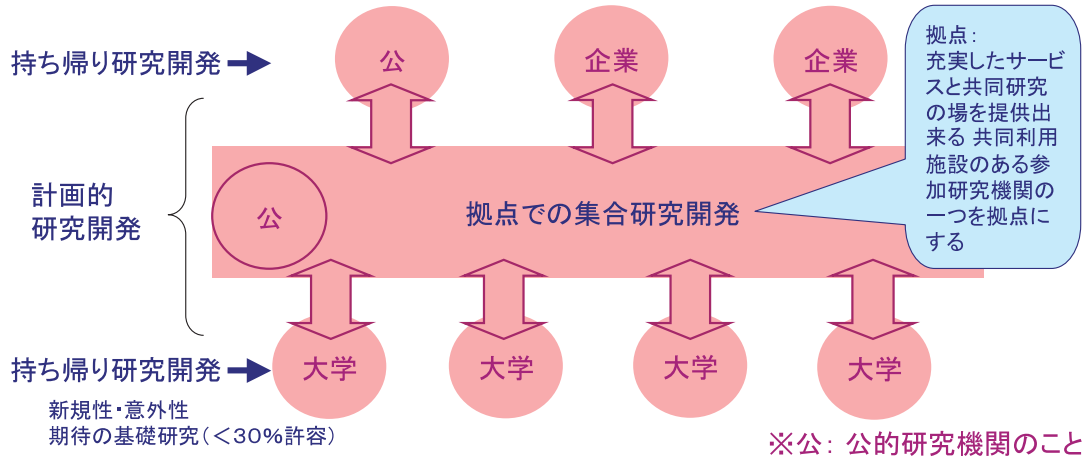


図11 研究開発推進体制

5 科学技術上の効果

「エネルギーセキュリティーを達成するナノ構造材料研究開発」を実施することにより、科学技術上以下の発展が期待される。

5-1 エネルギーをその製造・変換プロセスの材料までも含んだ

トータルシステムでとらえた数学モデル開発

技術から出口を求めると発想がリアモデルとなりやすく、特に革新的な技術開発に対しては出口から発想して、それを解決するための目標値を先に定めて技術開発をするというノンリアモデル志向が必要で、そのためにはこのような数学モデル化して目標を決めていくという手法が有効である。さらに目的とするところをとにかく数学モデルで表現することは、独立変数と従属変数の関係を明確にし、何をしようとしているかを明らかにすることになり、化学プロセスに限らず他への応用・波及効果が大きい。

5-2 上記数学モデル全体の最適化の過程で目標材料物性をきめていく

目的志向型研究開発手法

一つの材料物性が突出していても全体システムとしては成り立たない。系の全体を最適化しながらそれぞれの材料をバランスよく開発していくことは、システムの実現化を目指したパフォーマンス追求型研究開発には必須であり、これまで実施された例がない。このような研究開発手法はクリティカルパス手法とともにプロジェクト型研究開発には是非取り入れていくべきであろう。

5-3 分野融合による研究開発の過程で導出されるナノテク知見

材料研究開発過程ではかなりの確率で新シーズ（物性、計測技術、現象等のイノベーションシーズ）が出てくることが期待される。目的志向型研究開発ではこれらの新シーズは目的外として無視されるおそれがあるため、新シーズのインキュベーション研究開発を奨励すべく、ある程度の範囲内で目的外研究開発を許容しイノベーション創出の機会を積極的に作っていく。この許容により大学研究者を目的志向型研究開発に糾合可能となる。

5-4 要素技術発展を牽引

図4に示したように「エネルギーセキュリティーを達成するナノ構造材料研究開発」を実施することにより、ナノテクノロジーをベースにした要素技術研究開発が急速に進展し、それらの技術を軸にした幅広い技術の進歩も期待される。

① ナノ構造と機能解析

ナノスケールで初めて発現する機能を見つけ出し、その機能を決定する物理や化学理論を確

1
提案する
研究の内容

2
研究投資する
意義

3
具体的な
研究開発課題

4
研究開発の
推進方法

5
科学技術上の
効果

6
社会・経済的
効果

7
時間軸に対する
考察

8
検討の経緯

Appendix

立する。

②理論、モデリング、シミュレーション

構造、組成から機能予測、機能から構造、組成予測をするための理論、モデリング、シミュレーション手法を構築する。

③集合体設計と製造

ナノ構造材料を所望の機能の構造体に設計、製造するための方法論、手法開発。

④触媒

ナノ構造で制御された触媒の設計、製造、評価技術開発。

⑤界面化学

物質移動、エネルギー輸送、電子輸送を最適化するためのナノスケールで制御された機能性界面の達成。

⑥品質、安全、特性評価、標準化

ナノ材料の品質評価法、安全評価、標準化についても系統的に行われなければならない。

⑦スケールアップ科学

ナノ材料を実験室レベルから実用化レベルへ必要品質を保証して製造する技術。

6 社会・経済的効果

「エネルギーセキュリティを達成するナノ構造材料研究開発」を実施することにより実現する、コプロダクション型エネルギー・物質同時生産システムは、以下の社会・経済的効果をもたらす。

6-1 エネルギーセキュリティ対応

ガス化プロセスを経由するため基本的にどんな炭素原材料でもフィード可能であり、低品位石炭、重質残渣油、有機廃棄物（廃プラ・生ゴミ等）、バイオマス等あらゆる炭化水素源、すなわち化石資源から循環再生資源までをフレキシブルにフィードとすることが出来る。燃料多様化対応且つ石油等の化石燃料依存の低減を可能とした、低位バリュー、又はマイナスバリューフィードの付加価値化である。プロダクトはコプロダクション、すなわち電気、燃料油、水素を主成分とした燃料ガス、 C_1 (C_2) あるいはオレフィン等の化学原料で、これらのプロダクトミックスは需要により可変である。これによりエネルギーセキュリティとしての代替性・互換性を備え、その時点時点の国内におけるエネルギー安定供給を柔軟に確保し得る最適、且つロバストなエネルギーシステムが実現されることになる。この道筋の究極的な姿として、エネルギー自立の道も可能となる（図3のA→C）。

6-2 環境対応

本システムは（コプロダクション型エネルギー・物質同時生産システム）エクセルギー損失を最小にするように設計されたものであり、且つまた CO_2 分離プロセスを含み必要に応じて CO_2 を一括処理（海底投棄、固定化等）することが可能としている（これらの処理方法の検討、研究開発も別途実施される必要がある）。すなわち、投入した化石燃料の炭素分のみあう CO_2 を分離した、いわゆるシステム全体としてはカーボンニュートラルな循環型エネルギーシステムということができ、温暖化防止の国際貢献をはたすことになる。

6-3 大学と企業の本格的産学連携

これまでの産学連携のプロジェクトを振り返ってみると、大学と企業が初めから終わりまで密に連携してプロジェクトを同時進行的に推進した例はあまりなく、大学は大学、企業は企業と離散的になされてきた。そして最終段階になって大学から企業（基礎から応用）へのバトンタッチということになり、このギャップが大きく（魔の川、或いは死の谷）バトンタッチがなかなかうまくいかなかった。つまり縦の（基礎と応用、或いは理想系と現実系、小規模少量生産と大規模大量生産）分野融合が本格的になされていなかったと言える。

本プロジェクトは第4章の研究開発の推進方法で述べたように、大学や公的研究機関と企業が常時密に連携していかなければ進められない、本格的な連携プロジェクトといえよう。本プ

1
提案する
研究の内容

2
研究投資する
意義

3
具体的な
研究開発課題

4
研究開発の
推進方法

5
科学技術上の
効果

6
社会・経済的
効果

7
時間軸に対する
考察

8
検討の経緯

Appendix

プロジェクトの推進、成功が大学の目的志向型基礎研究マインドを醸成することになり、企業も大学や公的研究機関に積極的に大型の研究委託を行う呼び水となる（これまでのどちらかというリクルート目的の小型投資から、成果重視の大型投資へと変革）。このことが大学の活性化と成果（パフォーマンス）追求型の研究者育成につながり、更に企業の再投資という「知とマネーフロー」の好循環社会を生み出すきっかけを作ることになるものと期待される。

7 時間軸に対する考察

過去、歴史上の数多くの文明が崩壊もしくは消滅していった。中央アメリカのマヤ文明、南米の空中都市マチュピチ、地中海のクレタ文明、太平洋に浮かぶイースター島等々枚挙にいとまがない。絵や写真で見る、これらの文明が残した遺跡は現在でも我々を魅了する。このような富と権力の象徴でもある建造物は、甚だしい労苦の末に築いた物であるにもかかわらず、その当事者たちは忽然と時代の闇に消え去ってしまった。なぜ崩壊の道をたどったのか、人々はどこへ行ったのか。我々の現文明の未来はどうなるのか。科学技術として、今我々は何をなすべきか。等々、疑問の種、心配の種は尽きない。

イースター島における環境破壊は極端な部類に属するかもしれない。緯度的には亜熱帯地域に属し、かつては豊かな緑でおおわれていたであろうと想像されるイースター島の森林破壊は、人間の定住後に始まり、1400年頃最盛期を迎え、16世紀初頭から17世紀に終了したものである。現在発見されている竈の灰も木炭から草・芝のものへとかわっていつている。これは支配層の竈、農民のものを問わず同じ状況に陥っていたようである。森林が丸ごと姿を消し全種の樹木が消滅した。その結果住民に襲いかかったのが、薪なしで過ごす冬、航海や食糧確保のためのカヌー製造原木の欠乏、森林破壊による土壌浸食の被害と相まって、食糧不足の深刻化、樹木と食料確保のための殺し合い、飢餓等が人口激減へとつながり、モアイを作ったイースター文明そのものが崩壊してしまった。「イースター島の住民たちは、島に残った最後の一本の木を切り倒すとき、どういう言葉を吐いただろう？」（「文明崩壊」ジャレド・ダイヤモンド著、楡井浩一訳、草思社）

今日のエネルギー・環境事情を概観し、イースター島の歴史になぞらえてみたとき、今日の我々がおかれた状態はかの島で起こった環境破壊現象が、まさに始まろうとしているのか、ある程度進んだ状況なのかは議論の分かれるところであろう。しかし、確実にいえることは、最後の一本の木を切ることになる以前に手を打たなければならないということである。

本研究開発提案の「エネルギーセキュリティを達成するナノ構造材料研究開発」を実施することは、世界的な地球温暖化現象、エネルギー資源の乏しい日本の状況と国際石油情勢の現状を展望すると、緊急且つ最重要課題と考える。

本提案のシステムの研究開発の実行は二つのステップで実施することが望ましい。第一ステップは本提案にあるとおりのナノ構造制御材料研究開発を7～10年計画で実施し、第二ステップで実証プラントを建設してシステムの実証試験、同時に循環原料確保の研究開発を10年計画で行う。

1
提案する
研究の内容

2
研究投資する
意義

3
具体的
研究開発課題

4
研究開発の
推進方法

5
科学技術上の
効果

6
社会・経済的
効果

7
時間軸に対する
考察

8
検討の経緯

Appendix

8 検討の経緯

本提案は、2006年6月17日に開催された「エネルギー・環境用材料技術戦略」検討会で議論された内容を元に作成したものである。

この検討会では、今後の日本のエネルギー関連研究開発の道筋を考え、それを実現するための戦略を立案することを目的に、ナノテク・材料との分野融合で開ける“エネルギー・環境用材料”に焦点をあて、「エネルギーの多様化、輸送・貯蔵、省エネ、及び環境との絡み」等に関する研究開発戦略を議論した（図12）。検討会の内容は以下の通りである。

コーディネーター 橋本和仁（東大先端研）

サブコーディネーター 本間 格（産総研）

第一部：一次エネルギーの多様化

エネルギーソースとその変換技術について議論。

【発表者】

吉田正寛（新日石）	化石エネルギー高度化、無害化（石油、石炭、 オイルシェール等）
堤 敦司（東大院工）	エネルギーシステム、バイオマス、水素
宮坂 力（桐蔭横浜大院工）	太陽電池（有機系）
横川晴美（産総研）	固体酸化物型燃料電池、電気化学反応器
久保佳実（NEC基礎・環境研）	燃料電池、太陽電池
青野泰久（日立材料研）	燃料電池

第二部：エネルギー貯蔵と輸送

貯蔵については電気貯蔵（二次電池。キャパシタ、超伝導マグネット）材料と、輸送は電力輸送の超伝導材料について議論。

【発表者】

本間 格（産総研）	電力貯蔵（二次電池、キャパシタ）
高木英典（東大新領域）	電力輸送（超伝導材料、熱電材料）

第三部：省エネルギー

省エネに最も効果のある構造材、触媒、膜材料技術について議論。

【発表者】

香川 豊（東大先端研）	構造材（耐熱セラミクス、高分子複合材）
石原達巳（九大院工）	多元系セラミクス、ペロブスカイト、酸素イオン伝導材、 超伝導展開
水野哲孝（東大院工）	ナノ構造制御触媒
谷岡明彦（東工大院理工）	ナノ構造膜（プロトン導伝膜、省エネ分離膜）

第四部：総合討論

第一部～第三部で討議した「エネルギー・環境用材料技術」の社会需要、要素技術の重点テーマの洗い出し、優先度、タイムテーブル、研究推進手法等について議論。

【発表者】

橋本和仁（東大先端研） 環境提言

岩橋基行（清水建設技術研） 環境課題提供

「まとめ」

エネルギー・環境用材料技術戦略では、目的志向型基礎研究がまず重要であり、「エネルギーセキュリティ」の重要性が共通認識として得られた。研究者は、この共通認識の下、個々人の立場で様々なアプローチを進めるべきで、日進月歩のナノテクノロジー・材料分野、特にナノ構造制御材料という新しい学問をベースに進めることが、目標達成に向けて良いツールとなることも理解された。

エネルギーセキュリティという目的を達成するためキーワードは、まず学術研究にのみ没頭してきた研究者に、エネルギーセキュリティという大変重要な課題の解決に向けて、積極的に参加するべきというメッセージである。さらに、異分野の人間がこの目的に賛同して参加できるグラントシステムの構築の必要性である。また、アジアの中の日本という視点から、日本がアジアでリーダーシップをとる。このため文化を中心に、日本、東洋に根差した科学技術という視点もキーワードになる。

方法論としては、様々なロードマップ等を詳細に分析し、ナノ構造制御材料等のナノテクの各領域が貢献できるアプローチ、コントリビューションのあり方を考える。その上で、テーマ設定をし、重点テーマの洗い出し、チーム編成にもつなげることが重要である。

1
提案する
研究の内容

2
研究投資する
意義

3
具体的な
研究開発課題

4
研究開発の
推進方法

5
科学技術上の
効果

6
社会・経済的
効果

7
時間軸に対する
考察

8
検討の経緯

Appendix

ナノテクノロジー・材料研究開発戦略俯瞰図

【プログラム戦略構成分野／ナノテクノロジー・材料達成目標】		⑦計測・評価・標準							関連する 共通基本課題	
① ナノサイエンス ☆		⑥設計・探索							社会受容・倫理に配慮した戦略	
②ナノ構造・材料		⑤ナノデバイス・システム							教育・人材育成戦略	
③ナノバイオ・システム		④ナノ材料・加工プロセス							共用研究開発拠点構築戦略	
1	人工ナノ構造 ☆	1	機械的ナノ加工技術 ☆	1	設計・微細加工・製造技術 ☆	1	材料設計シミュレーション ☆	1	S P M システム開発 ☆	社会受容・倫理に配慮した戦略 教育・人材育成戦略 共用研究開発拠点構築戦略
2	超分子 ☆	2	自己組織化・自己集合技術 ☆	2	半導体複合デバイス ☆	2	D B の構築と新材料設計 ☆	2	リアルタイム計測・3次元計測技術 ☆	
3	ハイブリッドナノ構造 ☆	3	ナノ粒子の複合化材料技術 ☆	3	エネルギー変換デバイス ☆	3	材料探索手法の開発 ☆	3	超高感度・極微量分析技術 ☆	
4	ソフトマター ☆	4	高次ナノ構造制御材料技術 ☆	4	光機能デバイス ☆	4	新材料用いた複合デバイス ☆	4	超高速・チップ利用計測技術 ☆	
5	微粒子・クラスター ☆	5	複合ハイオシステム ☆	5	ナノ構造・ナノ材料分離技術 ☆	5	生体物質を基盤とする高機能材料 ☆	5	計測・標準化のための新評価方法及び研究開発のための工業標準戦略 ☆	
6	有機・生体関連分子 ☆	7	ナノカーボン ☆							
7	ナノカーボン ☆									
【イノベーション達成分野】		<p>① エネルギー・資源 1.再生可能エネルギー変換技術 ☆ 2.高効率化技術・省エネルギー技術 ☆ 3.省エネルギー・エネルギー貯蔵技術 ☆ 4.燃料の大量代替・エネルギー貯蔵</p> <p>② 安全・環境 1.生活環境モニタリング・環境浄化/保全技術 ☆ 2.環境修復技術 ☆</p> <p>3.安全対策技術/食品・医薬品・化粧品を含む ☆ 4.認証・偽造防止技術 ☆</p> <p>③ 輸送・社会基盤システム ☆ 1.建設・住宅・土木用技術 ☆ 2.輸送・自動車用技術 ☆ 3.電力・エネルギー社会基盤技術 ☆</p> <p>④ 生活・文化 ☆ 1.少子高齢化社会対応技術 ☆ 2.ロボティクス ☆ 3.快適な生活環境のためのナノテクノロジー ☆ 4.人類の70年代以降の生活環境のためのナノテクノロジー ☆</p> <p>⑤ 医療・食料 ☆ 1.創薬技術 ☆ 2.医療器技術 ☆ 3.診断・標識・迅速検査計測技術 ☆ 4.食品関連技術・食品創製技術 ☆</p> <p>⑥ 情報・通信 ☆ 1.表示・記録装置 ☆ 2.記憶・メモリ装置 ☆ 3.情報処理・通信システム ☆ 4.半導体機器製造装置・製造技術 ☆</p>								

「エネルギー・環境用材料技術戦略」検討会で対象とした領域

図12 俯瞰図における「エネルギー・環境用材料技術戦略」検討会の位置付け

Appendix

- 1 参考文献
- 2 コプロダクションシステム応用事例

1

参考文献

- (1) 「エネルギー・環境用材料技術戦略」検討会報告書 JST研究開発戦略センター
平成18年度 (CRDS-FY2006-WR-06)
- (2) エネルギー総合戦略調査 (超長期エネルギー技術ロードマップ報告書) 平成17年度
経産省資源エネルギー庁委託調査 財団法人エネルギー総合工学研究所
- (3) 文明崩壊 ジャレド・ダイヤモンド著、楡井浩一訳、草思社

1
提案する
研究の内容

2
投資する
研究の意義

3
具体的な
研究開発課題

4
開発の
推進方法

5
上の
科学技術の
効果

6
社会的
効果・経済的

7
軸に対する
時間軸の
考察

8
経緯
検討の

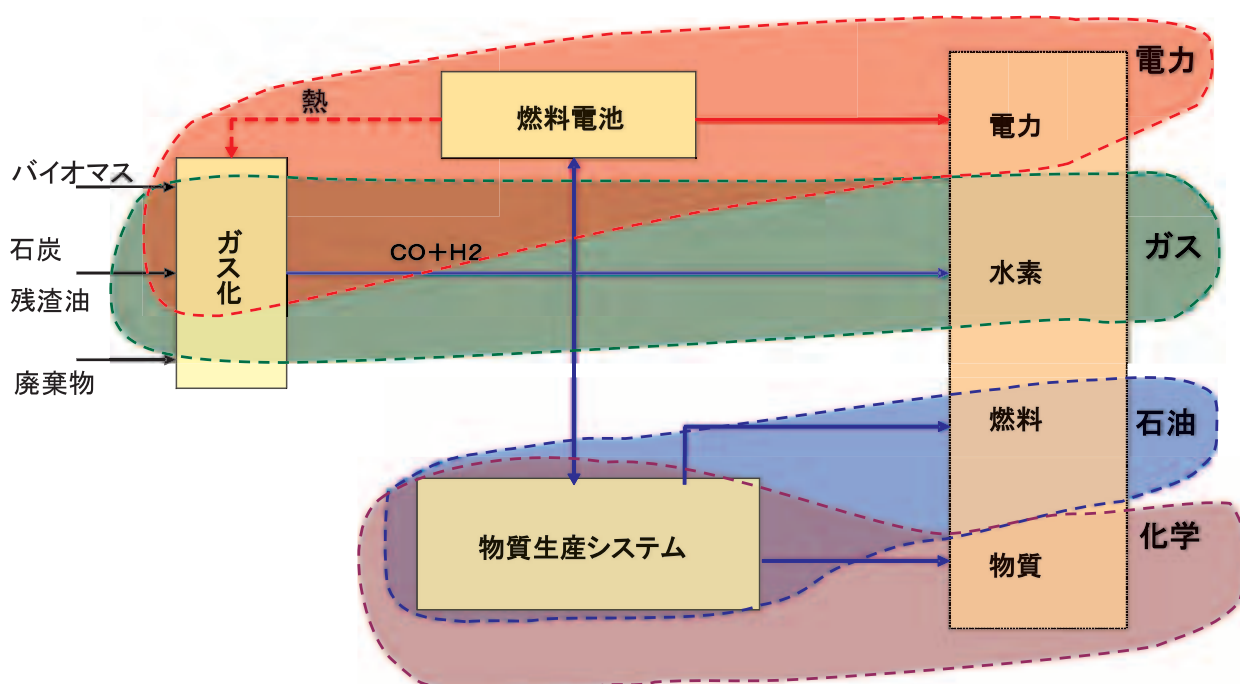
2 コプロダクションシステムの応用事例

①大型基幹産業連携コプロダクション

電力、ガス、石油、化学の上流バルク産業連携事例

これまで石油化学コンビナートが各地域に形成されていたが、今後はこれを以下の図のようにエネルギー・物質生産システムに拡大して、徹底した省エネルギー・省資源をはかるエネルギーコンビナートとして形成すべきであろう。

炭化水素系エネルギー変換システムの例示
(大型基幹産業連携コプロ)

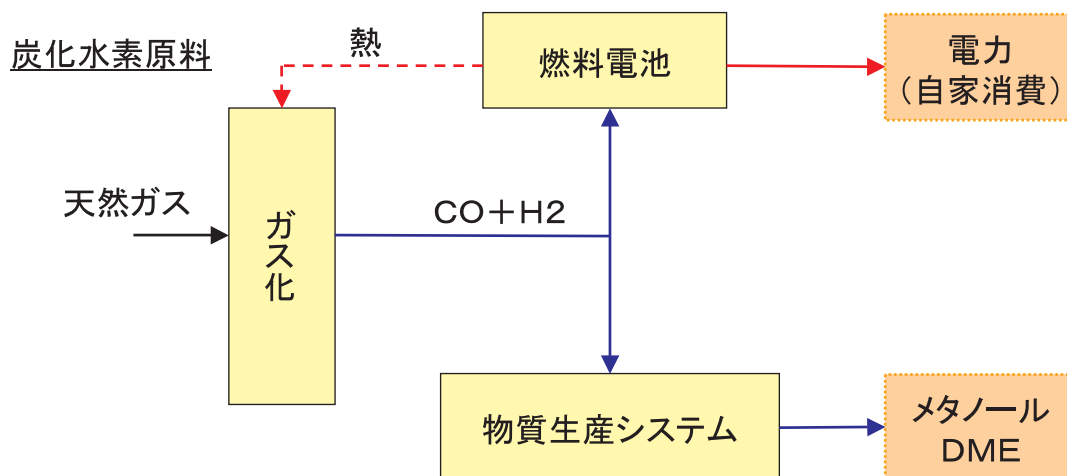


②小型パッケージ型コプロダクションシステム

中規模ガス田用GTLプロセス (Gas To Liquid ガスを液化するプロセス)

これまで冷却液化装置、冷凍タンクが採算に乗らないために試掘はしたものの、放置されていた比較的中規模から小規模天然ガス井戸の回収に対応したシステム。下図のように単純化したパッケージプラントに組み立て、基本的に無人運転を想定。電気は自己プラント用に消費し、合成ガス(水素+一酸化炭素)から常温液体燃料としてメタノール又はDME(ジメチルエーテル)を合成し、常圧タンクに貯蔵し、定期的にローリー又はタンカーにて回収。このように低コスト化をはかり、小規模井戸からの回収を可能なものとする。

炭化水素系エネルギー変換システムの例示 (小型パッケージ型コプロ)

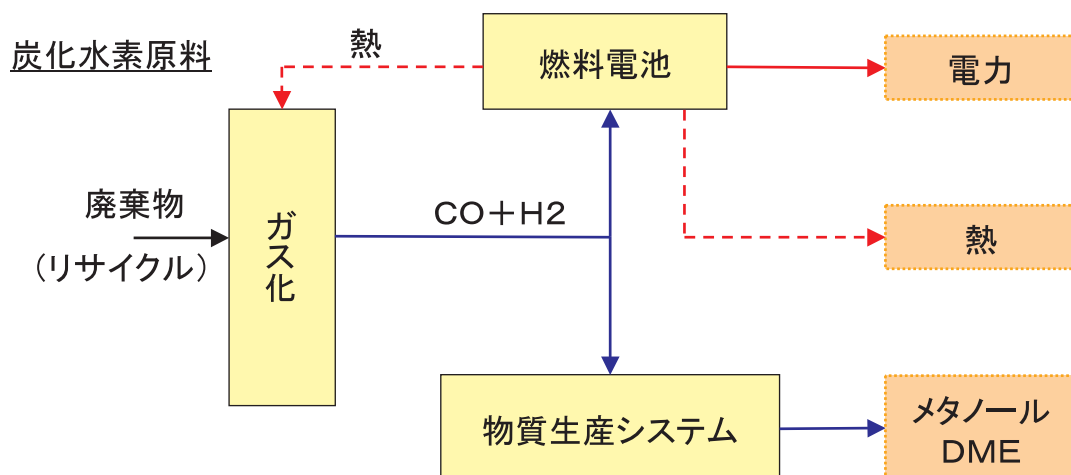


③小型パッケージ型コプロダクションシステム

自治体等のゴミ焼却炉に適用する廃棄物（有機ゴミリサイクル）処理用パッケージ。

原料は収集される有機ゴミ・生ゴミを使用。発生する電力は自家消費と売電、熱は自家消費。余剰分はメタノール又はDMEに変換して貯蔵し、液体燃料として自家運送車（ゴミ収集車等）に使用。これによりこれまでのゴミ発電の採算点の改善がはかれる。またこのパッケージは大型店舗のコジェネシステムにも適用でき、店舗からのゴミ処理（有機ゴミ）もかねて採算点を大幅に改善する。

炭化水素系エネルギー変換システムの例示 (小型パッケージ型コプロ)



1 提案する
研究の内容

2 研究投資する
意義

3 具体的な
研究開発課題

4 研究開発の
推進方法

5 科学技術上の
効果

6 社会・経済的
効果

7 時間軸に対する
考察

8 検討の経緯

Appendix

戦略プロジェクト

エネルギーセキュリティを達成する ナノ構造制御材料研究開発

独立行政法人 科学技術振興機構 研究開発戦略センター

制作担当 田中グループ
(ナノテクノロジー・材料分野担当)

〒102-0084 東京都千代田区二番町3番地
電話 03-5214-7483
ファックス 03-5214-7385
<http://crds.jst.go.jp/>
平成19年2月

©2006 CRDS/JST

許可なく複写・複製することを禁じます。
引用を行う際は、必ず出典を記述願います。
