

## 脱炭素社会を目指す革新的反応性流体科学

### ① 計画の概要

2015年11月から12月に開催されたCOP21において、産業化以前より地球平均気温上昇を2℃に押さえる長期目標が全ての国々が参加する世界共通の目標として採択された。これにより、人類社会の持続的発展を維持しながら地球温暖化問題に対処する施策が緊急性を持つに至った。総人口が減少し高齢化が進む我が国においては、国際的地位と生活の質を維持増進するため、産業経済に及ぼす打撃を最小化し低炭素社会を目指す新しい概念と科学技術が求められる。

現代社会は未だ全エネルギーの80%が燃焼に支えられている。燃焼は動力と熱を同時に取り出せる安定なエネルギー源であり、利用効率向上が温室効果ガス削減に大きくかつ敏感に影響する。すなわち燃焼のエネルギー利用効率を格段に高め温暖化ガス排出を最小化することが第一であるが、さらに脱炭素社会を目指すには排出される温室化ガスの回収と利用が求められる。これらの一連のプロセスは燃焼現象に代表されるような反応を伴う流動現象のもとに進展するものであることを踏まえ、以下の二つの目標を掲げることとする。すなわち1) 革新的反応性流体科学技術創成、2) 燃焼エネルギー利用効率の格段の向上を掲げる。

革新的反応性流体科学技術は温室効果ガスの効率的回収を実現するための酸素燃焼技術や、高純度で回収された温室効果ガスの再生可能エネルギーによる燃料化を含むものであり、また、燃焼エネルギー利用技術の革新は実際の燃焼機器における熱、流体、反応化学の融合現象を取り扱うもので、高度な学術的要素を有していることから、本提案では実績ある大学および国立研究機関、強力な企業群の相互協力の下に研究を推進する必要がある。そこで、一般社団法人日本燃焼学会が本計画運営の中核的役割を果たし、大学、研究機関ならびに企業群の設備も活用して十年計画で研究を推進する。

### ② 学術的な意義

反応化学と熱・物質移動の科学を両輪とする反応性流体科学は我が国のエネルギー体系の基幹となってきた燃焼技術の学術的拠り所である。反応化学は数千に及ぶ素反応機構、電子レベルの微小スケール量子化学とピコ秒素反応時間を有し、熱・物質移動の科学は微量化学種の移動から大規模火災まで包含する大スケール問題への適用、すなわち広大なスケール幅が学術的特徴である。航空宇宙推進の研究を端緒とする燃焼科学は、エネルギー危機、環境問題への対応を経て、窒素酸化物生成機構解明と排出抑制技術等に社会的インパクトを与えながら発展してきた。現在では、社会の基幹エネルギーを支える科学として、温室効果ガスや環境負荷物質排出削減に向け活発な研究が展開されている。我が国発の高温空気燃焼技術、高圧縮比で熱効率を格段に高めるエンジン燃焼技術等は反応性流体科学の発展に依るところが大きい。

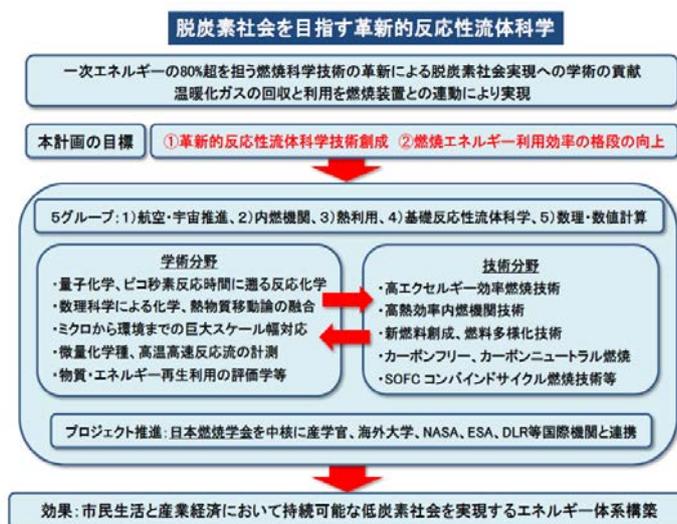
量子化学に基づく化学反応機構の解明と数理・数値解析の融合によって、多様な燃料に対応した新燃焼技術の開発や素反応過程から導く新燃料の創製、高温高圧といった高エンタルピー環境や微小重力環境の燃焼研究によって、次世代航空宇宙推進系開発や安全技術を格段に高めることも期待される。カーボンフリー、カーボンニュートラル燃料の生産と燃焼は脱炭素社会実現のための重要な柱であり、酸素燃焼に代表される高エクセルギー効率燃焼の大規模な展開も期待される。

革新的反応性流体科学の発展には計測と数理・計算科学が不可欠である。対象が微量化学種や高温高速反応過程であるため、量子化学、分光計測学の研究分野が共同で研究を遂行している。また、これを背景とする燃焼技術はエネルギー体系の基幹であり航空宇宙推進、ガスタービン、自動車、工業炉などの動力・エネルギー、伝熱、熱物性工学など幅広い工学分野も包含される。学術分野の広がり、国際性、波及効果は、理学、工学の広範な分野にわたる。

### ③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

我が国は原発推進によるCO<sub>2</sub>削減を進めたが、事故によってシナリオは再考された。原発依存の低下が避けられない中、火力発電の低炭素化、高熱効率化など、エネルギー利用効率の高い燃焼の研究とその排出CO<sub>2</sub>ガスの回収と利用技術の重要性は依然として高い。

EU圏ではエネルギー資源市場統合、ロシア依存から脱却を進めている。高効率で多様なエネルギー源の獲得を進め、バイオマス利用の技術力も高い。原発脱却を宣言したドイツは、風力発電を強力に進めながらも火力発電で補っている。CO<sub>2</sub>回収型石炭燃焼もEU連合事業として精力的に研究されている。米国では、多様なエネルギー技術研究が進んでおり、プリンストン大学に燃焼研究センター(CEFRC)が設立され成果を挙げ、シェールガス革命によりCO<sub>2</sub>低排出エネルギーの確保が可能になった。航空燃料にも新燃料導入が検討されている。



中東では、サウジアラビアがクリーン燃焼研究センターを有する大学院大学（KAUST）を巨費を投じて設立した。ロシアは石油、天然ガス資源の輸出が経済を支えてきたが、低炭素技術を柱にする政策に転換しつつあり極東地区に研究拠点を設立した。

#### ④ 実施機関と実施体制

一般社団法人日本燃焼学会を中核とした国内の主たる参加機関は、北海道大学、東北大学、東京大学、名古屋大学、京都大学、大阪大学、九州大学、東京工業大学、慶應義塾大学、筑波大学、富山大学、大阪府立大学、岐阜大学、山口大学の14大学と、産総研、JAXA、さらに16企業（トヨタ自動車、本田技研、日産自動車、マツダ、三菱重工、IHI、日立製作所、JFE エンジニアリング、電力中研、豊田中研、東京ガス、大阪ガス、JX 日鉱日石エネ、三浦工業、日本ファーンレス、出光興産）である。運営は日本燃焼学会事務局を核に、東日本地区、関東地区、西日本地区の三拠点を中心に進める。各機関が有する大型実験施設の共用化、本計画による高度化を進めると共に、航空宇宙・推進、内燃、熱利用、基礎反応性流体科学、数理・数値計算の5つの出口イメージ毎に研究者が複数参加可能な研究グループを設ける。実験研究グループが行う大規模・高精度な標準実験と、数理・数値計算分野が担当する融合研究（実験データと計算メモリを共有した実時間計算研究）も進める。

本計画では、革新的な反応性流体科学技術の創成と燃焼におけるエネルギー利用効率の格段の向上を通じ、我が国の燃焼分野の技術水準を格段に向上させ、世界をリードすることを目的としている。このため国内の総力を結集するとともに、すでに研究者レベルで構築された海外著名機関との間に強固で包括的な協力体制を確立する。海外の連携機関の例としては、これまでも国際宇宙ステーション等における微小重力実験で国際連携をすすめてきたNASA、ESA、DLRを始め、米国CEFR（プリンストン大学を核としDOEにより創設された燃焼研究センター）や大学（カリフォルニア大学バークレー校・サンディエゴ校、ケンブリッジ大学、アイルランド大学、極東連邦大学等々）、研究機関と組織的な連携を行う。

#### ⑤ 所要経費

航空宇宙・推進グループは、現有燃焼風洞・高圧燃焼試験設備を、内燃グループはエンジン要素試験設備を、熱利用グループは試験炉を設置する。基礎反応性流体科学グループは、標準反応試験装置で標準データを取得、数理・数値計算グループと連携し、大規模燃焼化学反応機構の構築と逆問題適用を目指す。国内外シンポ、広報・出版も行う。経費概要を次に示す（金額単位：百万円）。

設備等費：実験研究（高圧燃焼設備改修・維持 50×10年=500、内燃機関設備 50×10年=500、試験炉設備 50×10年=500、基礎燃焼 50×10年=500）数理・数値計算（クラスタ計算機・更新300）小計2,300

人件費：（ポスドク 20人×10年×7=1,400、著名研究者招へい 15人×0.5年×2/月=180、特任研究者雇用 6人×10年×7=420、事務局職員 10人×10年×5=500）小計2,500

ネットワーク構築：（旅費 60×10年=600、内外シンポ 30×5回（隔年）=150、スクール開催 5×10年=50）小計800

その他：（計算機使用料 15×10年=150、広報・出版費 50）小計180 経費計：5,780

#### ⑥ 年次計画

本計画は十年間とし、初年度に国内外の研究協力体制の構築を行い、二年度目から2つの柱である革新的反応性流体科学技術の創成、および燃焼におけるエネルギー利用効率の向上に向け研究を展開する。産学官の協力により技術課題の選択、集中的な取り組みを実施し、五年経過した段階で内容の総合的な評価・検討を行い、必要に応じ軌道修正する。海外からの著名研究者の招へいを組織的に進め、日本での取り組みの国際的サーキュレーションと共に日本の若手研究者教育（集中的スクーリング）を実施する。また研究進捗にあわせ、国内若手研究者を海外連携機関に長期派遣するとともに、海外からも若手研究者を受け入れ、国内・国際ネットワーク共に緊密化を図る。なお国際ネットワーク構築による将来的な多面的効果に鑑み、国際ネットワーク構築に際しては新興国若手研究者受け入れへの格段の配慮も行う。後半五年には、蓄積した知識に立脚して逆問題解決による新技術の創成に着手する。例として、解明した大規模燃焼化学反応機構に基づき燃料の分子構造設計を行うことで、高いエネルギー利用効率を有する新規燃焼技術等への貢献も目指す。

初年度：拠点設置に向けた技術課題絞り込み、運営体制確立、海外連携機関との包括協力契約、研究設備高度化、キックオフ会議実施、スクーリング（サマースクール等）

二年度～五年度：各実験研究実施、数理・数値計算モデル構築～融合研究（実時間計算）による予測技術の高精度化・高速化実施、進捗に応じ各種実用・実証研究への展開（応募）、国内・国際シンポジウム実施、総合評価実施、スクーリング

六年度以降：評価に応じた技術課題の新展開、逆問題解決による新燃焼技術の創成、エネルギー利用の格段の高効率化、新技術の実用フェーズへの展開、国内・国際シンポジウム実施、スクーリング

#### ⑦ 社会的価値

地球環境問題、エネルギー問題への国民の関心は極めて高い。特に東日本大震災以降の原発停止による電力供給のリバランス、経済・産業への影響が、エネルギー問題への関心を一層高めている。再生可能エネルギーの拡大や新エネルギー技術研究は今後も積極的に進められるべきであるが、その進捗には細心の注意を伴う移行が必要である。一方で、現在のエネルギーの80%が燃焼により生産されている事実があり、燃焼によるエネルギー利用効率の向上による問題解決へのインパクトが大きいことは明白で、エネルギーインフラを最大限活用できる燃焼科学技術の役割は大きい。燃焼科学には広範な基礎科学が集約されておりその学術的貢献は大きい、革新的反応性流体科学とそれに連動する温暖化ガス回収および利用技術体系の構築により、カーボンニュートラルな社会の実現を目指す本研究計画の社会的、経済的、産業的価値は高いと考えられる。

#### ⑧ 本計画に関する連絡先

津江 光洋（一般社団法人 日本燃焼学会）