

国際宇宙ステーションでの燃焼合成研究

東京工大総理工 小田原修

Combustion Synthesis Research on International Space Station

Osamu Odawara

Tokyo Institute of Technology, J2-48, 4259 Nagatsuta, Midori-ku, Yokohama 226-8502

E-Mail: odawara.o.aa@m.titech.ac.jp

Abstract: Combustion Synthesis is a rapid, versatile, near net shaping technology that can operate in low gravity and high vacuum. Space-DRUMS facility can be used to rapidly test a wide variety of combustion synthesis reactions and products for in-situ resource utilization and in-space fabrication and repair of lunar material processing. The use of the facility has been proposed as a way to bring together Japanese and U.S. researchers together through the activities of JUSTSAP.

Key words; In-situ Resource Utilization, ISS/JEM, Space-DRUMS, JUSTSAP

「燃焼合成」は、反応誘導・波面形成による燃焼伝播過程と変態・転換を左右する構造化過程で構成され、エネルギー供給の不要な短時間でのものつくりを可能にしている。その特徴を最大限に活用する技術として研究開発してきた「微小重力燃焼合成」は、その場資源有効利用技術(ISRU: In-situ Resource Utilization)として、また局所的な反応誘導で形成される自発的な伝播過程で生成する反応熱を利用したその場修復技術(ISFR: In-situ Fabrication and Repair)としての応用が期待されている。「微小重力燃焼合成」は、微小重力環境ばかりでなく、高真空や無酸素な環境における超高温の供給技術としても有効な技術である。

反応伝播過程での物質移動と熱移動の挙動が伝播機構を左右し引き続く構造化過程を決定する。したがって、微小重力環境での燃焼合成によって生成物の均一な組成および構造の制御が可能である。これまで、反応伝播過程の可視化による波面の伝播速度の測定及び温度履歴の測定を反応伝播過程でガス生成の少ない炭化物系(TiC、SiC、等)で行い、円柱状の原料圧粉体の一端を加熱して反応伝播と温度変化の様子を CCD やサーモビジョンなどで観察・解析してきた。TiC 凝縮系燃焼合成を対象に、熱伝導・熱伝達と対流項の相互作用を明らかにし、気相の関与する項に問題を展開し圧力項も加味した相互作用を明らかにしてきたが、反応伝播方向の優先性と引き続く構造化過程での優位性を明らかにし、生成物の機能の特徴を明らかにすることが今後の課題である。

2008年11月に、NASA 商業利用として国際宇宙ステーション(ISS)へ音波浮遊炉 Space-DRUMS(Space Dynamically Responding Ultrasonic Matrix System)が

設置された。そこで、「宇宙燃焼合成研究班 WG」では、Space-DRUMS を利用した研究開発を推進し、無容器燃焼合成研究によって信頼性の高い伝播過程と構造化過程の関する知見を充実させて今後の先進的な燃焼合成研究に資するとともに、宇宙探究研究での ISRU 及び ISFR の展開に資する。

小田原修をリーダーとした「宇宙燃焼合成研究班 WG」は、燃焼合成研究会(1988年設立)の有志【山田修(大阪産大)、大柳満之(龍谷大)、秋山友宏(北大)、薄葉州(産総研)、牧野敦(JAXA)、友重竜一(崇城大)、大谷茂樹(物材機構)】と東京工業大学イノベーション研究推進体(フロンティア分野)のメンバー【矢野豊彦、大竹尚登(現:名古屋大)、原和彦(現:静岡大)、吉本護】で構成されている。本研究班のこれまでの燃焼合成に関する取組みでは、日米科学技術宇宙応用プログラム(JUSTSAP: Japan-US Science, Technology and Space Application Program)の活動として日米共同で宇宙燃焼合成研究を推進するとともに、ロシアのマクロカインेटィクス研究所(ISMAN: Institute of Structural Macro-kinetics, Academy of Science)との協働体制を充実させている。

Space-DRUMS は、微小重力下で音響緩衝装置を使うことによる無容器での材料合成の設備である。設備の主たる装置は、ギニエ・インターナショナル社が開発した浮遊炉であり、20個の音波発振子で直径70mm程度の試料を浮かすことができる。燃焼合成においての着火は試料の中心に挿入したプローブの通電加熱で誘導する。(Fig. 1 参照) 無容器材料合成においては、試料と容器の壁の間での不要な核生成による汚染を避ける事を可能にする。このような微小重力を利用してのプロセッシングは、地上の

研究では達成できない微構造や材料の特性により有効な均一性を具備することができる。重力環境での合成においては、溶融体に浮力と対流の影響が作用する。その結果、多孔質材料には凝集や不均一孔径・異型孔が見られ、ガラスセラミックス材料では不均質にガラス化される。一方、微小重力下での材料創成においては、微構造やガラス生成に顕著な効果を発揮し発現する機能・特性は向上する。燃焼合成技術の応用としてのガラスや電子機能材料としてのSiCの形成を進めるとともに、慣性力や電気力の作用の下での燃焼合成に関わる研究開発も進める。Space-DRUMSは燃焼合成反応システムにおける低重力の効果を実証することを一義の目的としたISSの商業利用の設備であり、多種多様な燃焼合成反応や宇宙での製造品や月材料加工に迅速に活用することができる。Space-DRUMSは他のペイロードと分け合うこともでき、教育や開発に関わる様々な実験にも対応できるモジュール式ユニットを有している。(Figs. 2 参照)

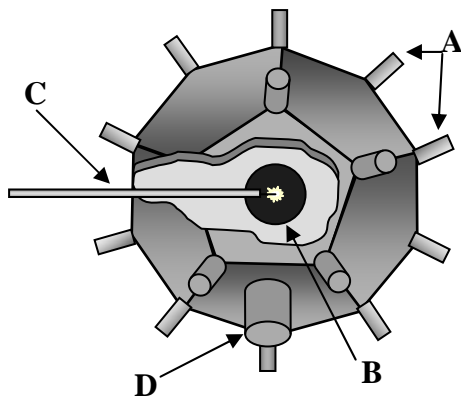


Fig. 1 Space-DRUMS configuration*
A: 20 acoustic projectors, B: Sample,
C: Igniter, D: IR video camera

*: [presented at the 2004 JUSTSAP Workshop
by Guigne International, LTD.]

すでに、落下塔実験や航空機実験さらに小型ロケット実験で経験があり、実験系の組立でも十分微小重力環境での作動を考慮して対応出来る状態である。実験環境が要求する重量やコマンド条件への対応の自由度も十分であり、実験遂行においては問題なく対処出来る。また、反応伝播挙動を中心に実験を遂行するので、観察-着火-挙動把握-試料交換のプロセスの自動化が、コマンド数も少ない実験システムであり、臨機応変に適応可能である。観察については、ヒューム等を排除した高速撮影技術を確立している。

研究開発の展開として、微小重力のみならず、高真空や無酸素環境での燃焼現象(燃焼誘導、燃焼伝播、

反応転換、など)を系統的に研究し、様々な環境での燃焼合成技術の制御システムを構築する。また、燃焼現象に特異的に作用する環境における支配因子を抽出することにより、複雑系である燃焼現象での優先過程を明らかにし、加速的に進展する場における反応素過程を究明する。応用研究開発としては、ISRUへの応用のみならず、ISFRとしての燃焼利用の優位性は周知であるが、信頼でき安心・安全に活用するためには燃焼現象の高度制御技術の確立は必須であり、その達成の技術的意義は非常に大きい。その場資源有効活用あるいはその場修復を対象としての燃焼研究開発には、燃焼伝播挙動と燃焼波後方の高温領域での構造化についての知見が必要であり、短時間と長時間の両方からの研究取り組みが効果的である。

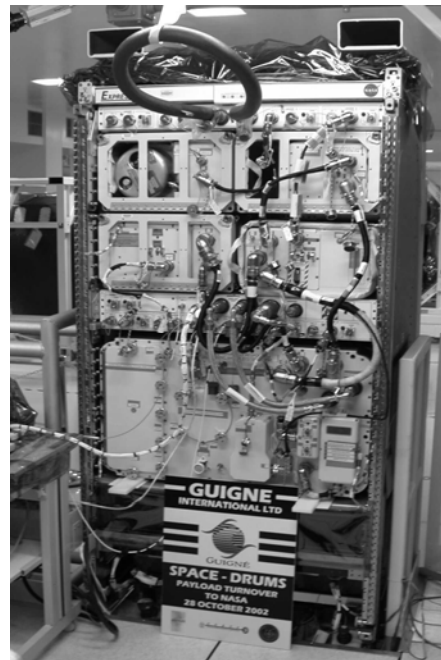


Fig. 2 Space-DRUMS facility*

*: [presented at the 2005 JUSTSAP Workshop
by Guigne International, LTD.]

世界に先駆けて宇宙燃焼合成の提案と研究開発を行い、遠心力場を活用した遠心テルミット法の提案を皮切りにしての産学官連携による研究開発での大きな実績により、この分野での我が国の優位性及び取組みの独自性に対する世界的評価は高い。本取組みは、国内外の他の研究機関を主導する独創的な研究開発であり、学際的な分野の体系化のみならず、直近の緊急課題である危機管理も含めた安心・安全社会の構築及びその場修復技術に関わる知見を通して地上での大規模接合技術の研究開発に関わる分野の発展にも十分貢献し得ると期待できる。