

燃料電池搭載航空機 大空へ

世界で初めての飛行実証試験に成功

燃料電池は環境に優しいエネルギーとして家庭用ではすでに市販され、2015年には燃料電池自動車も市販されると言われている。航空機でも油圧や空圧などの動力をすべて電気にする動きがあり、電源の一つとして燃料電池が考えられている。IHI グループでは再生型燃料電池の開発に注力しており、2012年ボーイング社と共同で、世界に先駆け、再生型燃料電池搭載機の飛行実証試験に成功した。

株式会社 IHI エアロスペース (JAXA 出向中)
株式会社 IHI エアロスペース 基盤技術部
株式会社 IHI 航空宇宙事業本部 技術開発センター

岡屋 俊一
石橋 英紀
谷内 雄作



B737-800 機体の貨物室内に搭載された再生型燃料電池 (提 供 : ボーイング社)

航空機にも燃料電池

航空機の電力供給システムは、通常、ジェットエンジンに連結した交流発電機を主電源として構成されている。昨今の電源機器技術進展 (小型・軽量・大出力・高効率・低コスト) に伴い、油圧・空圧で賄われていた動力も電気に統一化し、飛行するための推力以外すべて電動化することが機体システムとして燃費の向上、低コスト化を生むと判断されるようになってきた。これが「全電動化航空機」(All Electric Aircraft : AEA) といわれる構想で、ボーイング社 (アメリカ) をはじめとした世界の主要機体メーカーが将来の航空機計画として研究を進めている。このAEAの構想実現のための研究の一環として、ボーイ

ング社、IHI、株式会社 IHI エアロスペース (IA) の3社で航空機用再生型燃料電池飛行実証試験を世界で初めて実施し成功させたので、その結果および今後の再生型燃料電池の技術開発について紹介する。

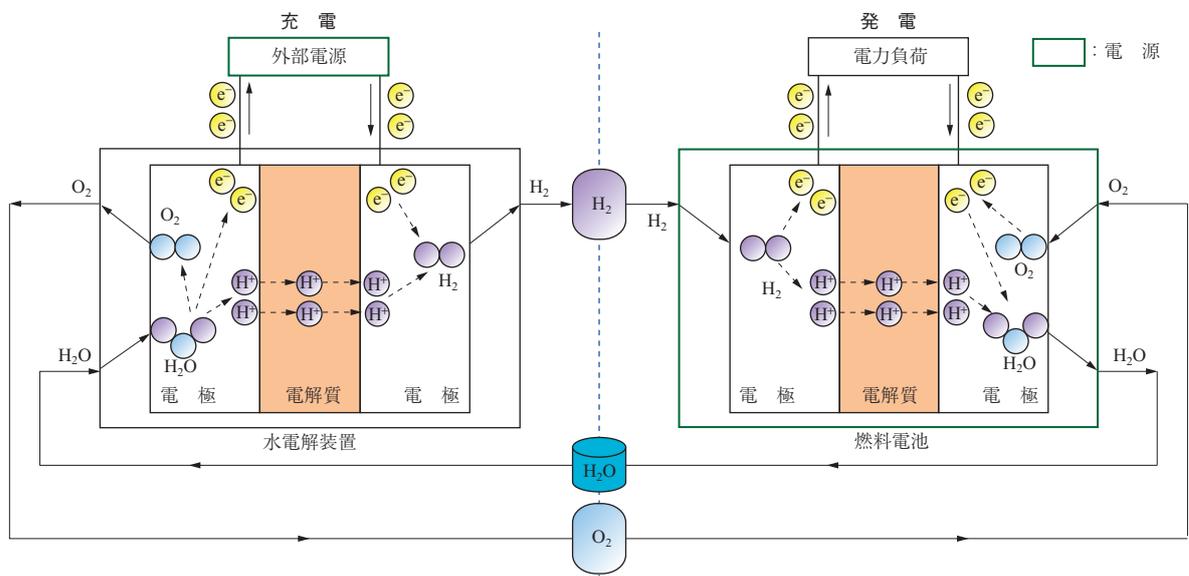
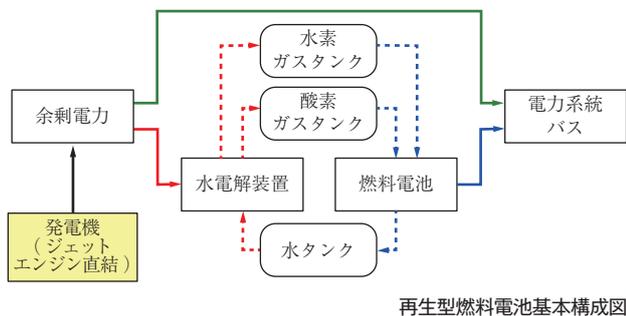
「再生型」燃料電池

燃料電池は、基本原理は同じでも、イオンの移動を媒介する電解質の違いで幾つかの方式があり、現在までおのおのの用途で各種開発が行われてきている。方式として研究開発の年代順にアルカリ型燃料電池 (AFC)、リン酸型燃料電池 (PAFC)、熔融炭酸塩型燃料電池 (MCFC)、固体高分子型燃料電池 (PEFC)、固体電解質型燃料電池 (SOFC) の5種類に分類される。昨今の研究の主体は、自動車用として固体高分子型、分散電

源として固体電解質型へ移行している。特に固体高分子型は内燃機関などと比較して高効率でかつ、CO₂を発生しないクリーンエネルギーシステムという性質から将来のエネルギー源として自動車用途、あるいは分散電源用途として商品化開発が国家研究機関、および自動車会社、電気会社などを中心に精力的に進められ、家庭用電源など一部製品化されているものもある。燃料電池自動車開発は、技術的にも資金的にも燃料電池実用化の強力な牽引車になっており、1年後の2015年には燃料電池実用車が数百台規模で市販される予定である。

ところで、これら燃料電池は内燃機関同様、燃料が供給されている間電力を出力するが、燃料を消費してしまうと出力は停止する、いわゆる「1次電池/発電機」である。要するに燃料電池の出力可能期間は貯蔵した燃料の量により確定してしまう。これに対して消費した燃料を何らかの方式で再生することで、長期間にわたり出力を可能にしたものが「再生型燃料電池」(Regenerative Fuel Cell: RFC)である。いわゆる「2次電池/蓄電池」で、燃料電池という革新技術を利用し

た新型のエネルギー貯蔵・発生システムである。再生型燃料電池の基本原理は、貯蔵燃料が有効な間は燃料電池により発電を行い、燃料消費後は外部の余剰電力(太陽電池電力、夜間商用電力など)を利用して燃料電池生成水を水電解装置で燃料(水素/酸素)に再生し、再度燃料電池発電につなげるというものである。これを航空機の運用に当てはめると燃費の改善につなげることができる。航空機の運用において上昇・下降時に操舵系/空調系などの運転のため大電力が要求されるが、巡航時には逆に発電能力に余裕が生じる。したがって、再生型燃料電池を搭載し、巡航時の電力を使用して水から燃料(水素/酸素)を生成させ、上昇・下降時の不足電力を燃料電池発電で補充する運用が可能であれば、燃料消費を削減できるとともに発電機などの大型化を避けることができるというわけである。再生型燃料電池の基本構成を左図に示す。燃料電池および水電解装置に固体高分子型を使用した場合の作動原理を下図に示す。再生型燃料電池の特長はエネルギー密度が高いという点で、リチウムイオン電池などの化学2次電池と比較して2~3倍性能が上回っている。つまり、同じ電力量を貯蔵する場合、化学2次電池と比較して1/2~1/3の重量で良いということになり、特に移動体では重要な技術と期待されている。IAは2000~2008年に独立行政法人宇宙航空研究開発機構(JAXA)と共同で、成層圏プラットフォーム飛行船用電源として、本再生型燃料電池の技術開発を国内の先駆として取り組んだ。



固体高分子型を使用した場合の作動原理

将来航空機の電源システム

前記のように航空機の全電動化による燃費改善、低コスト化が今後の傾向となっている。例えば、B777では発電機容量が約400kVAであるのに対して、最新機B787では発電機容量は約1400kVAまで増大している。これは空調機、エンジンスターターなどの電動化による電力要求増加のためである。今後、さらに操舵系統などの電動化が進み、必要電力は数千kVA程度まで増加することが想定されている。電力増加の対応として集中的に従来型エンジン直結発電機を大型化するのではなく、高性能な電源を負荷の近傍に分散させるマイクログリッド方式による電源システムの最適化が望まれている（下図参照）。このマイクログリッドを構成する電源には発電機、化学電池、燃料電池、スーパーキャパシターなどの候補があり、再生型燃料電池も高性能エネルギー貯蔵システムとしての採用が期待されている。

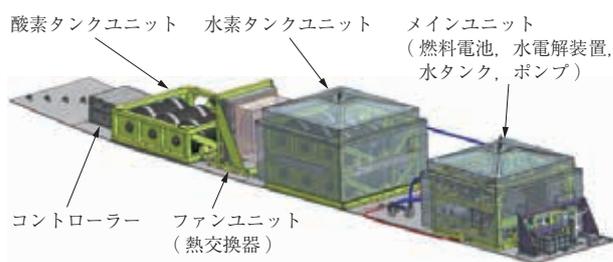
飛行実証試験

このように分散電源の一つとして、航空機での運用の最適化を図ることで、燃費向上が可能となる再生型燃料電池の航空機電源システムへの適用についてボーイング社、IHI および IA の3社において共同研究を2009年から開始した。この研究活動の大きなマイルストーンとして2012年10月2日にB737-800機体に再生型燃料電池を搭載して、実際の飛行条件での運転を飛行実証した。過去、小型飛行機運航中での燃料電池のみの飛行実証例はあるが、大型民間航空機実飛行環境での再生型燃料電池システムの運転実証は世界で初めての成果である。右図に示されるメインユニット、タンクユニット、ファンユニットおよびコントローラーで構成された再生型燃料電池実証モデルは、国内での機能・性能試験、

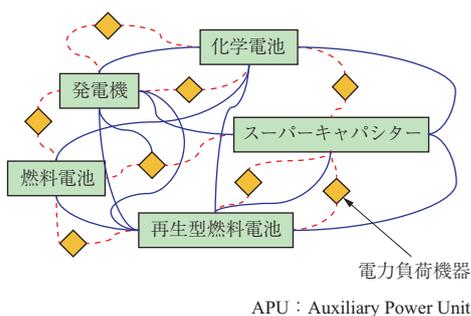
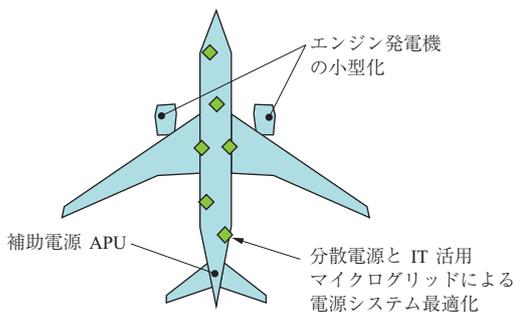
振動・衝撃試験などで設計・製造の妥当性確認を行った後に、ボーイング社にてB737-800機体の貨物室内に搭載され（冒頭の写真）、飛行試験に供された。飛行試験では約4時間にわたる飛行時間のなかで、実運用と同様に機体上昇中の燃料電池発電、巡航中の充電（燃料生成）+発電のサイクルを2サイクル計画どおり実行させることができた（次ページ左上図）。特に再生型燃料電池システム内のガス/水の流動が飛行環境により大きく変動するとシステムの機能・性能を発揮できなくなるが、今回の約4時間の通常運航条件において図に示されるように機能・性能に全く異常がないことから再生型燃料電池システムの大型民間航空機搭載性を実証することができた。この飛行実証試験成果は以下のとおりである。

- (1) 再生型燃料電池は機体システムとの機械的/電気的インターフェース整合を確認した。
- (2) 再生型燃料電池は航空機の電源システムの一部として機体上昇中の発電、巡航時の充電を介した発電が計画どおりできることを確認した。
- (3) 再生型燃料電池は航空機飛行複合環境（姿勢、加速度、振動、衝撃）で正常に動作できることを確認した。
- (4) 機体内での水素ガス生成・貯蔵に関わる安全対策の妥当性を確認した。

また、上記飛行実証試験実施の成果のみならず、その前段階として航空機搭載モデルの設計開発に当たり、飛行複合環境への対応と大型航空機に初めて水素ガ

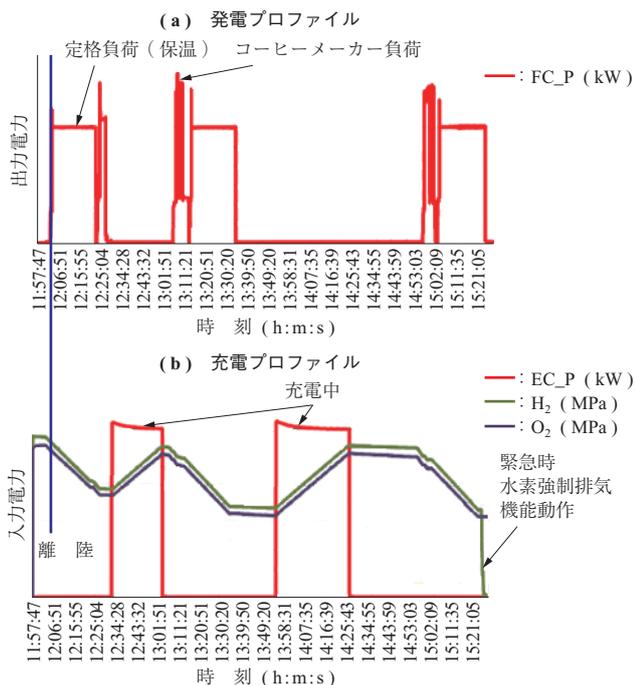


再生型燃料電池飛行実証モデル



APU : Auxiliary Power Unit

マイクログリッド方式による電源システム最適化（提供：ボーイング社）



(注) フライト時間 : 3 時間 44 分
距離 : 2 846 km

飛行実証試験での発電 + 充電サイクル (提供: ボーイング社)

システムを搭載するための安全対策などに大変労力を要した。過去の社内研究では燃料電池は地上試験、研究室レベルの要素試験のみで、航空機搭載前に日本で実施した飛行環境を模擬した大掛かりな振動・衝撃試験では、不具合なども発生し、その対策に追われた。水素ガスの漏洩対策や酸素ガスへの不純物対策など、厳しいボーイング社の安全審査を何度も受審し、そのフィードバックをモデルに十分反映させることで、飛行計画日程内で何とかボーイング社およびアメリカ関連機関からの飛行試験実施の了解を得ることができた。

これらの並々な開発努力の成果から、世界で初めて再生型燃料電池は将来、電動化航空機の電源システムのコア装置の一つになり得ることがボーイング社を含めて評価されたと考えられる。

航空機搭載を目指して

再生型燃料電池を将来航空機に搭載するためには、まだ幾つかの大きな課題がある。

一つ目の課題は、小さく軽く、再生型燃料電池が航空機搭載可能であることは示されたが、飛行実証モデルはさまざまな制約から冒頭の写真に示されるように貨物室を占拠する大きさとなり、その特長であるエネルギー密度の高さを実証するものにはなっていない。

エネルギー密度を高めるためには、装置の小型軽量化が必要であるが、その鍵となるのが水電解装置によって作り出す水素ガス、酸素ガスの高圧貯蔵である。現在燃料電池自動車向けに開発が進められている軽量な炭素繊維強化タンクに、限度圧いっぱいには貯めることにより、長時間の運転に必要なガス量を軽量コンパクトに貯蔵し、航空機の客室や貨物室を狭くすることなく、搭載可能にする必要がある。

二つ目の課題は、長期メンテナンスフリーの実現。再生型燃料電池は完全クローズなシステムであり、運転中外部とは電力と熱の授受のみが行われる。そのため、燃料となる水素ガス、酸素ガスおよびその元となる水については完全な再利用が行われなければ、繰り返し動作を行っていく過程で燃料の枯渇を招いてしまう。メンテナンスフリーで繰り返し運用するためには、水電解装置で発生する水素ガス、酸素ガスと水分の分離および、燃料電池で発電時に発生する水と燃料である酸素ガスの分離が重要である。気液分離はさまざまな分野で必要とされている技術であるが、航空機搭載用再生型燃料電池には小型、軽量でかつ、ロスのない（分離のために外部へガスを投棄することがない）ものが必要である。

三つ目に排熱の有効活用。再生型燃料電池はエネルギー密度が高い反面、効率は燃料電池での発電および、水電解にはエネルギー利用の理論限界があり、化学2次電池がもつ90%以上の効率には及ばない。運転時の廃熱を航空機で有効活用することにより全体システムとしての効率を上げる必要がある。熱の利用用途としては空調、給湯、防水が考えられるが、航空機とのインターフェース、必要なときに必要な量の熱を供給できるかなど、航空機メーカーと協力して検討を進める必要がある。

これらの技術課題をボーイング社、IHI および IHI グループ各社が連携協力しながら解決し、さらなる快適でエコな移動手段となるべく電動化を推進している航空機に対し、再生型燃料電池を電動システムのコアである高性能電力貯蔵・供給装置とするべく開発を進めていく。

問い合わせ先

株式会社 IHI エアロスペース

基盤技術部

電話 (0274) 62-7690

URL : www.ihico.jp/ia/