

《特集：ターボ機械協会創立45周年記念》

〔展望・解説〕

空気機械委員会の現在の活動状況と 将来への展望



船崎 健一 *

A Report on the Status Quo of Gas Machinery Committee and its Outlook

Kenichi FUNAZAKI

1. はじめに

「空気機械委員会の現在の活動状況と将来への展望」というお題を頂戴した。まず、空気機械とは何を指すのかを、本協会創立15周年を記念して発行された「空気機械」を紐解いてみると、空気機械は、「送風機、圧縮機、真空ポンプ、タービン、風車など」であり、それらは、各産業プラントやガスタービン、過給機、気体輸送用、発電用、風洞、高圧ガス発生機などで使用される、とされている。当時の技術課題として、圧力、温度、空間スケールなど広い使用環境下で、空力性能のみならず、材料や運転、制御、メンテナンス、などの観点で課題を探求することと、騒音など環境問題への配慮にも言及されている。

25年後の平成30年においても、空気機械は多くの分野で活躍し、さらに使用環境の拡大を目指して進化している。具体的な進化の内容、特に、送風機・圧縮機については、2016年9月

のターボ機械協会誌に特集が組まれている⁽¹⁾。この進化を支えているものは、CFD技術⁽²⁾、最適化技術⁽³⁾⁽⁴⁾や計測技術⁽⁵⁾などの進歩に支えられた空力設計技術、材料関連技術⁽⁶⁾、製造技術⁽⁷⁾、トライボロジー関連技術⁽⁸⁾⁽⁹⁾、ロータダイナミックス⁽¹⁰⁾、運用・周辺技術⁽¹¹⁾などである。今後、これらの技術の発展が成長エンジンとなって空気機械はさらに発展していくことが期待されるが、その成長を阻害する要因も垣間見えはじめており、将来展望は困難な作業ではある。歴代の委員長と比べ非力は否めず、現時点の活動内容にも課題は数多くあるが、これを機会に改めてターボ機械協会における空気機械委員会の役割と今後の課題を考えてみたい。

2. 空気機械委員会の活動

2-1 委員会構成

本委員会は、空気機械の研究開発および製作・使用に携わるメーカー、ユーザーならびに大学、国立研究機関の研究者および技術者から構成されており、委員数はおおよそ20名程度である。

* 岩手大学 理工学部
E-mail : funazaki@iwate-u.ac.jp
原稿受付日 平成30年7月5日

2-2 活動の目的

本委員会の目的は、メーカー、ユーザーおよび大学、研究機関の間における空気機械に関連した技術情報の交換を行うとともに、研究会、分科会の設置に関する審議ならびに協会の行事企画およびそれらの運営なども行う。さらに、刊行物の編集に関して担当理事会への適切な具申等を行うとともに、必要に応じて刊行物編集に携わることもある。以下に、活動内容を具体的に紹介する。

2-3 活動概要

(1) 生産統計

本生産統計は、当該年の1月から12月の1年間に日本国内で製造・出荷された主要なターボ機械およびその関連機械の生産実績(輸出向けも含む)と、その動向等を取りまとめたものである。調査対象は、空気機械の場合ターボ圧縮機、容積型圧縮機、送風機および風力タービンである。生産統計は2002年から毎年1回協会誌に掲載しているが、長年にわたる生産統計は、我が国におけるターボ機械の市場の推移や技術変遷を把握するために極めて有用であり、多くの業界関係者からの関心を集めるとともに、大いに活用頂いていると聞いている。ざっと見た範囲でも、空気機械は幅広い産業の基盤的機械であること、その年代ごとの産業構造、世界景気を反映して海外向け、国内向けの生産状況が変化していること、特に昨今では、エネルギー関連の世界的動向が国内の生産活動に大きく影響していることなどが理解でき、大変興味深い。

データの収集、整理については、常設委員会である空気機械委員会が行っているが、コンプライアンスの観点から、統計資料については大学や研究機関などに所属する担当者が一旦取りまとめ、メーカーなどが判別できる情報を削除したのちに執筆担当者に渡すように作成体制を変更して作業に当たっている。

(2) 分科会活動

① 可変速(VSD)モーター駆動回転機械の諸問題検討分科会

本分科会は、可変速(VSD)モーター採用時におけるトラブル防止、国内外における省エネルギー推進に寄与するVSD採用拡大の2点を主目的とし、関連する技術的課題や動向に関して回転機械メーカー、VSDメーカー、エンジニアリング会社、エンドユーザー等の第一線の技術者が情報交換・意見交換を図り、当分野の諸活動を活発化し技術向上ならびに人材の育成の促進を図ることを意図として2008年に設立された(特集記事としてVSDが取り上げられている⁽²⁾)。

現在、分科会委員は、回転機械メーカー8社、電気メーカー4社、エンジニアリング会社4社、エンドユーザー1社、商社1社(注:同一会社で複数の区分にまたがる場合、それぞれ分類で1社として計上)、委員総数31名で構成されている。委員構成に見られるように業容・分野、機械系技術者vs.電気系技術者と異なる立ち位置にある委員が多様な視点から、回転機械とVSD・モーターなどに関する有意義な技術情報交換が実施できる場となっている。

分科会設立当時は、コンプレッサ・ポンプなど被駆動機と可変速モーターで構成されたトレーンのトルク変動トラブルとして顕在化したVSD起因振じり振動問題を主な検討テーマとして年3回程度分科会を開催してきた。その後モーター・発電機とターボ機械双方に関係する諸問題、機械系技術者から見て解り難い電気系問題たとえば短絡時過渡トルク問題なども話題提供・技術検討テーマになどに取り込み機械系・電気系双方の技術者の技術向上に向けて話題提供ならび技術討議をしている。

たとえば回転機械トレーンが設置されるコンクリート基礎あるいは鉄骨構造の設計時には、エンジニアリング会社が実施する基礎構造体の

応答解析がある。そのインプットデータとなる駆動機・被駆動機から伝達される動荷重の妥当な値の算出法と、そのアウトプット結果の評価基準となる基礎上面における許容振動値は、各メーカーによって算出根拠および評価基準がさまざま、しばしば議論となる問題であったが、本分科会にてエンジ会社と回転機械メーカー・電気メーカー間で、基礎構造体の応答解析の趣旨・妥当な動荷重の算出法・その評価基準につき相互理解が進むなど大きな成果を上げることができた。

平成29年度は、高速誘導モーターの紹介、最近の磁気軸受動向の紹介、磁気軸受制御に関する最近の研究の紹介、モーターシステムの標準設計と個別設計に関する問題点の4件の話題提供に対し意見交換が行われ委員各位の関連技術力向上を図った。特にコンプレッサに高速モーターを直結したトレイン構成、磁気軸受を採用したオイルレス回転機械システムなど今後注力すべき技術課題であり参加する分科会委員にとって非常に有意義であった。

このように特別会員となっている電気メーカーの技術者とターボ機械技術者との情報交換の場として、ターボ機械協会の発展と会員の技術力向上に貢献することが期待される。

② 送風機・圧縮機の騒音と性能研究分科会

2011年当時のターボ機械協会坂口順一会長(当時、千代田化工建設)より、空気機械委員会には分科会が少ないので、活性化のために送風機や圧縮機の騒音や性能を調査研究対象とした分科会を設立してほしいという申し出を頂いた。そこで、大学およびメーカーの空気機械関係者が急遽、研究分科会を組織して、第1回のKick Off分科会を2012年1月20日(金)に早稲田大学で開催したのが、当研究分科会活動のスタートになった。

本研究分科会が対象とする送風機や圧縮機

は、全ての産業分野で省エネルギーが要求されている。例えば、Oil & Gas分野の大型圧縮機、道路トンネルの換気や火力発電所の通風系に用いられる大型ファンでは、近年、ライフサイクルコスト低減のために効率と作動範囲をはじめとする性能が大幅に向上しており、今後の課題として環境保全のための騒音低減が要求されている。一方、一般産業用送風機、さらに、空調機に用いられるプロペラファンやターボファン、ならびに電子機器やモーター等の冷却に用いられる小型ファンでも、消費電力の低減と使用環境の快適性の観点から高効率化と低騒音化が要求されている。

このようなニーズに対応するため、現在、CFDを活用した研究が盛んに行われており、損失の発生メカニズムと不安定現象の発生メカニズム、および空力騒音発生メカニズムが解明されつつある。また、PIVを活用したCFDの実験検証とメカニズムの実証も行われている。このように内部流れの把握によるターボ機械の騒音と性能を支配する流動現象の解明は急速に進んでいるが、得られた研究成果が十分に製品の性能向上に貢献している状況ではない。また、大型高圧の圧縮機・送風機と小型低圧の冷却ファン、それぞれの研究成果・知見がお互いに共有され、一般産業用送風機も含めた各製品(システム)の性能向上に反映されている状況でもない。

そこで、本研究分科会では幅広い分野で使用される送風機と圧縮機を対象として、①現状の研究成果に関する情報の共有、②今後の製品課題とそれを解決する研究開発の議論の2点を目的に、大学研究機関とターボ機械のメーカー、およびユーザー等の第一線の研究者と技術者の情報交換・意見交換を図り、当分野の諸活動を活発化し技術向上ならびに人材育成の促進を図ることを意図して設立された。

現在の会員は、大学側委員17名、メーカー側委員24名、オブザーバー2名の計43名であり、原則として年2回研究分科会を開催し、情報交換と会員間の懇親を行っている。2012年1月20日の第1回研究分科会の開催以降、現在までに7年間で12回開催している。

また、2012年当時の韓国KSFM (Korean Society of Fluid Machinery) 会長であったKwan-Yong KIM教授 (Inha University) より、KSFMのFan and Compressor Committeeと合同のWorkshopを定期的に行わないかという提案があり、第1回の日韓Workshop (1st Korea-Japan Joint Workshop on Fans and Compressors) を2012年7月31日(火)に早稲田大学で開催し、日韓両国で送風機や圧縮機の性能や騒音に関する情報交換を行うと共に、両研究分科会間の親善を行った。その後、このWorkshopは毎年日韓両国で交互に開催され(2013年に第2回をJeju島、2014年に第3回を長崎、2015年に第4回をGoyang、2016年に第5回を京都、2017年に第6回をSeongnam)、2018年9月28日に札幌で開催が予定されている7回目を迎えることになった。今後も日韓両国で継続的にこのWorkshopを開催し、ターボ機械協会のグローバル化に貢献すると共に、送風機や圧縮機分野で日韓両国による国際共同研究やプロジェクトの提案、講演会での共同OSの開催などに継ぐことが期待されている。

3. 空気機械の将来と

空気機械委員会の役割

3-1 空気機械の将来

空気機械は今後どうなるのであろうか? その手がかりを求めて、ターボ機械協会25周年記念として出版された「ターボ機械の過去・現在・未来」を手にとってみた。この本の中で取り上げられている空気機械は、送風機・圧縮機(山口信行氏)と水平軸風車(清水幸丸氏)である。

前者については、圧縮機・送風機の永遠の課題であるサージについて受動的・能動的制御やスマート制御などの実現が期待されており、これは現在においても変わらない。特に、プラズマアクチュエータの登場はスマート制御の実現を予感させるものであるが、実用には超えるべき壁は多い。また、CFDがRANS/URANSからDES/LESを用いた大規模高解像度(Hi Fidelity)解析が可能になり、サージのメカニズムの解明が進んでいること、観測データを取り入れたCFD・実験融合のアプローチや、機械学習(Machine Learning)などによる特異現象や事故発生予測など、計算科学、情報科学などの知見が空気機械の世界に積極的に導入されていくことが期待されている。

風力タービンについては、最近の生産統計に風力タービンのデータが提供されないため、NEDOのデータ(http://www.nedo.go.jp/library/fuuryoku/pdf/02_dounyuu_suii.pdf)に当たってみると、設備容量(kW)、設置基数とも順調に増大傾向にあるが、東日本大震災・津波の前後で明瞭な変化が見られる。実際、2010年～2013年では、設備容量(kW)、設置基数は2,474,815 kW→706,598 kW(年率77,261 kW)、1,809基→915基(年率35.3基)が、2013年～2016年では、2,706,598 kW→356,644 kW(年率216,682 kW)、1,915基→203基(年率96基)となっており、震災前後で増加割合が3倍に増えていることがわかる。

このような再生可能エネルギー分野で空気機械が活躍する一方、太陽光発電、風力タービン、地熱発電などの利用が拡大するなど、「脱炭素化」が世界同時進行的に進んでいる。この原稿を書いている最中に、GE(ゼネラル・エレクトリック)が、米国株式市場の代表的株価指標である「ダウ工業株平均(Dow Jones Industrial Average)」の構成銘柄から外れるというニュー

スが飛び込んできた(朝日新聞2018年6月21日版)。この出来事は、世界最大の時価総額にもなったExcellent Companyの代表格であり、航空エンジン、発電用ガスタービン、蒸気タービンを中心としたエネルギー分野での製造業の雄は、再生可能エネルギーの急速な普及などによる業績低迷にあえいでいるという。このニュースは、エネルギー関連産業が「脱炭素革命」の影響を受け大きく変容し始めていることを伝えるものであるとも言えるだろう。

これらの世界的なエネルギーの需給・供給の動向や自動車産業のEV化は、ターボ機械、とりわけ空気機械には大きく影響することは明らかである。国際エネルギー機関(IEA)が発表したWorld Energy Outlook2017⁽⁴⁾には、急速に拡大しコストも低減しているクリーンエネルギー、エネルギーの電氣化、中国のクリーン化、米国でのシェールガスの動向などを踏まえた世界のエネルギー動向に関するシナリオが示されている。そこでは、世界的なエネルギー需要は過去よりはペースは落ちるものの、2040年までに30%の増加が見込まれ、これは現時点での中国、インド分を付け加えたものに相当するとされている。世界経済は年率3.4%での成長、人口も90億を超えると予想されており、エネルギー需要の伸びも頷ける。一方で、エネルギー供給面には大きな変化が見込まれ、石炭、石油に由来するエネルギーは大きく減少、天然ガス、原子力は微増で、需要の伸びの大半を再生可能エネルギーが担うとされている。このような変化は、the world's consumers are not yet ready to say goodbye to the era of oilと述べられているものの、資源・エネルギー向けの空気機械の需要に少なからぬ影響をもたらすものと予想される。

電氣化の動きでもっとも影響を受けるのはタービンと思われる。タービンはもともと化石燃料などの化学エネルギーを流体が保有する熱エ

ネルギーに変換し、可動性を高めて機械エネルギー等に変換するものであるが、電氣化の流れの中で小型タービンが担っていた役割の一部は将来的に電動モーターで置き換えられる可能性がある。実際、ロケット用ターボポンプが電動化されている⁽⁴⁾。

3-2 空気機械委員会の役割

ターボ機械、特に空気機械が大きな変革期にあることは上で述べた通りであるが、空気機械委員会が果たすべき役割を最後に考えてみたい。

一つは、教育、後継者育成、啓蒙活動であろう。空気機械は成熟した技術ではあるが、産業の基盤を支え、また、豊かで快適な日常生活を維持改善するために必要不可欠な機械であり、その技術を正しく若手に伝承することが重要である。そのための講習会、研修、また、研究会などを企画するとともに、教材作成も必要となる。空気機械委員会が編纂した「空気機械」は一度も改訂作業が行われていないことから、改訂作業は本委員会の大きな仕事の一つである。ただ、25年間の技術的進歩をどのように取り込めるのか、委員会のみでは到底できない事業でもあり、委員会としても慎重に審議している最中である。

もう一つは、変革のリード役である。再生エネルギーとの共存がこれからのターボ機械およびその周辺技術の方向性である。その変革をリードするべく、新たな分科会を立て、新たな技術動向を本協会としてもしっかり捉えつつ、規格化までを見据えた活動を展開すべきであろう。そのためには、機械系だけで閉じた活動ではなく、異分野の学協会との連携も積極的に取り組むことが望まれる。

4. おわりに

空気機械は産業や社会にとって必要不可欠なものであるが、それだけではこの技術をさらに

発展させる革新は期待できない。若い学生や技術者への訴求力を高めるためにも、委員会が主導する形で空気機械におけるイノベーションを生むメカニズムを国内に導入してみたい。空気機械委員会の将来もそこにあるように思える。

[謝辞]

本原稿をまとめるにあたり、太田有教授、坂口順一氏の多大なるご協力を得たことを記し、感謝の意を表す。

<参考文献>

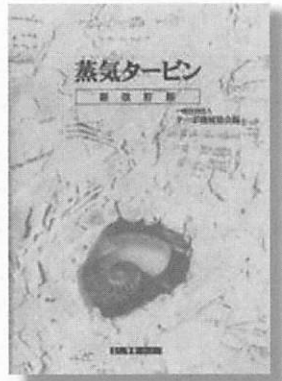
- (1) ターボ機械協会, 特集:送風機・圧縮機, ターボ機械, Vol.44, No.9 (2016).
- (2) ターボ機械協会, 特集:スーパーコンピュータ「京」を利用した流体力学研究の新展開と機械工学関連の先端産業応用事例, ターボ機械, Vol.42, No.5 (2014).
- (3) 後藤彰, ターボ機械流れの最適化技術の変遷と将来, エバラ時報, No.237 (2012).
- (4) ターボ機械協会, 特集:ターボ機械の最適化技術, ターボ機械, Vol.39, No.9 (2011).
- (5) 船崎健一, タービン翼列(実験的アプローチの最前線), 航空エンジン・発電プラントの技術進歩を支える最新の試験計測技術, 日本ガスタービン学会誌, 第45巻, 第4号(2017), pp.208-215.
- (6) 日本ガスタービン学会, 特集:ガスタービンを支える最新の材料技術の現状と課題, 日本ガスタービン学会誌, Vol.45, No.6 (2017).
- (7) 日本ガスタービン学会, 特集:最新の加工・製造技術, 日本ガスタービン学会誌, Vol.42, No.5 (2014).
- (8) ターボ機械協会, 特集:ターボ機械のトライボロジー最新技術, ターボ機械, Vol.41, No.5 (2013).
- (9) 日本ガスタービン学会, 特集:軸受け・潤滑システム, 日本ガスタービン学会誌, Vol.43, No.4 (2015).
- (10) ターボ機械協会, 特集:ターボ機械におけるロータダイナミクスとそれに関連する国際規格, ターボ機械, Vol.39, No.5 (2011).
- (11) 日本ガスタービン学会, ガスタービン周辺設備技術(高効率運用を目指して), 日本ガスタービン学会誌, Vol.37, No.4 (2009).
- (12) ターボ機械協会, 特集:VSD(可変速)モーター駆動回転機械の諸問題, ターボ機械, Vol.37, No.3 (2016).
- (13) <http://www.iea.org/weo2017/>
- (14) [https://en.wikipedia.org/wiki/Rutherford_\(rocket_engine\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Rutherford_(rocket_engine))

蒸気タービン 新改訂版 第2刷

蒸気タービンの設計・製作・開発の現場や、設備設計や運転・保守の現場で活躍されている方々の教則本として、さらには大学・高専での講義や研究の参考書として広く使われるロングセラー。第2刷では、FLNGへの適用について、また、主要な蒸気タービンの実績一覧も追加。

■主な内容

- 第1章 技術の発展
- 第2章 熱サイクル及び経済性
- 第3章 タービンの内部流れ
- 第4章 タービン主機の構造
- 第5章 タービンの制御システム
- 第6章 性能向上技術
- 第7章 信頼性向上技術
- 第8章 試験・製造・検査技術・規格
- 第9章 運用と保守
- 第10章 機械駆動蒸気タービン



■体裁: B5判280頁
■定価: 3,500円+税

日本工業出版(株) 0120-974-250

<http://www.nikko-pb.co.jp/> netsale@nikko-pb.co.jp