

## 研究の課題名

# プロセス機器におけるIT化対応のための 空気圧発電機構に関する研究

東京工業大学精密工学研究所 助手

(現 東京電機大学 工学部 助教授)

報告者 藤田 壽 憲

報告日 2003年(平成15年)1月15日

## 1. 本研究の意義、特色

IT革命はプロセス分野においても自動監視や遠隔操作などを実現し、その保守管理に大きな変革を与えている。しかしながら本質安全防爆領域であるため電氣的なインフラがなく、IT化進展の障害となっている。これまでプロセス機器の信号源や駆動エネルギー源として空気圧が利用されており、これを容易に使用できる環境下にある。そこで本研究では、空気圧により発電を行う機構を提案し、プロセス機器をIT化するために必要な電気エネルギーを確保する方策と、その可能性について検討することを目的とする。

## 2. 実施した研究の具体的内容、結果 (図面は省略)

研究計画にはほぼ沿って以下の各項目について検討をおこなった。

### (1) 空気圧発電機構の試作と結果

図1にピストン形空気圧バイブレータの原理を示す。バイブレータは、充填時には同図a)のように供給ポートからシリンダ室に空気が供給されるので、面積差により上方に移動する。その後、移動に伴い供給ポートが閉じられ排気ポートが開く。すると排気が始まり今度はピストン室が大気圧となるためピストンは下方に移動する。このバイブレータのピストンに図2のようにコイルを取り付け、永久磁石で発生した磁場で運動させることにより電力を発生させる。バイブレータの寸法はピストン径22[mm]、ストローク14.5[mm]であり、コイルは素線径0.12[mm]の4300回巻きのものである。これを試作して発電量を調べた結果、供給圧力50[kPa]、負荷抵抗を600[Ω]において、電圧9[V]、130[mW]の電力を取り出すことが出来た。プロセス機器の必要な電力は電圧12[V]以上、電力は最大100[mW]が要求され、電力としては十分であるが電源電圧を高める工夫が必要であることが明らかになった。また、このときの消費流量は15[NL/min]であり、効率は2%であった。他のプロセス機器の定時的な消費流量は2~3[NL/min]であることを考慮すると、この消費流量は大きく効率も低い。この内訳を調べたところ図3のように半分以上はピストン軸受部の漏れ流量であった。小型化を図り必要な発電量とするとともに、この漏れ流量を低減できれば一般的なプロセス機器と消費流量となり実用化できる目途が得られた。

### (2) 空気圧発電機構の特性解析

試作した空気圧発電機の特性を把握するために、運動方程式、気体の状態方程式、フレミングの法則、キルヒホッフの法則などを用いて数学モデルを構築した。またCプログラミングによりシミュレーションを行った。結果の一例を図4に示す。実線が実験を、破線がシミュレーションを表しており両者はほぼ一致しているものと言える。完全に一致しない要

因は主としてすべり軸受からの空気の漏れにあることがわかった。シミュレーションにより応答の予測ができるもののシリンダやコイル形状と発電性能との関係は見出しにくい。そこで導出した方程式を線形化し、記述関数法を用いてこれらの関係を明らかにした。その結果、発電しないときはピストン質量と空気室とで決まるシリンダの固有周波数で振動するのに対し、発電する場合はシリンダ固有周波数が低下するのではなく、発電量に応じて固有周期は増加し、振動のみが低下することがわかった。このとき発電量に関するパラメータは起電力定数、負荷抵抗とピストン質量であり、これにシリンダ固有周波数を加えたものが発電機の発振周波数となることを明らかにした。この解析の妥当性を確かめるために実験結果と比較した結果を図5に示す。供給圧力を変化させたときのバイブレータの挙動を調べた結果であるが、定量的には完全に一致しないものの定性的には一致しており、発電機の性能を把握していく上で非常に有用であることが明らかになった。

### (3) 静圧軸受機構による効率の改善

研究計画の中にはないが上述のように目標の消費流量を達成するためには軸受の漏れ流量を低減する必要があることがわかった。そこで図6のようにすべり軸受部を静圧軸受に変更することにより効率の改善と、摩擦、磨耗の低減によるメンテナンスフリー化を目指した。静圧軸受としては容易に製作が可能でコストを抑制できる、段付き形の軸受を採用した。これまでテーパ形状や、段付き形状でも動圧による軸受の解析結果は示されているものの圧縮性があり同形状のもの解析結果が見当たらない。そこで、これについて解析を行い、発電機への適用の可能性について調べた。その結果、図7のようにテーパ形状の場合と同様に、段付き部のクリアランス $C_1$ と非段付き部のクリアランス $C_2$ の比がある値で最大の支持力となることが明らかになった。解析結果を踏まえ静圧軸受を試作して性能を確認したところ図8の結果が得られた。実験結果は解析結果の7割程度の支持力しか得られなかったが、その値は供給圧力が200[kPa]のとき150[g]以上あり、コイルとピストンの合計質量50[g]程度を支えるのに十分足りうるということがわかった。実際に写真1のように静圧軸受を組み込んだ空気圧発電機構を製作し消費流量と発電量の関係を実測した。図9のように同じ供給圧力でもすべり軸受と静圧軸受との発電量 $P_1$ の間に差がみられるものの消費流量 $Q$ は半分以下になっており、効率 $\eta$ にすると2倍程度まで改善できることがわかった。

### (4) 発電コイル部の設計と空気圧発電機構の高効率化

コイル部における磁場設計はパーミアンス法を用いて行った。発電効率を高めるためにはコイルの素線径を抵抗とならない太さに保ちながら、コイルのボビンにできるだけ長い導線を巻き付ける必要がある。そこでボビン容積を一定として素線径をパラメータとしたときに、取り出せる電力をシミュレーションにより計算した。結果を図10に示す。素線径を細くすると起電力は上がるが、同時にコイル抵抗も大きくなるため負荷とのインピーダンスの関係から取り出しうる電力は下がる。逆に素線径を太くすると容積一定のため巻数が取れず起電力が小さくなるので電力も下がる。ある最適な素線径が存在することが明らかになった。素線径以外についても図11、図12にあるようにバイブレータのパラメータとなる給排気孔の開口面積 $S_e$ 、シリンダ隙間長さ $X_n$ を変化させて電力量と効率について調べた。その結果、孔の面積を増大してもある面積以上では電圧は上がり効率も低下することや、隙間長さを増加させると空気のコンプライアンスが大きくなり、効率は下がるものの振幅が増大して起電力が上がるということが明らかになった。最適値が得られる素線径の条件や空気圧バイブレータとのマッチングの条件を理論的に導く計画であったが、まだ不明であり、現在も引き続き考察を行っている。

### 3. 本研究を実施したグループに属するおもな研究者の氏名・役職名

香川 利春 東京工業大学 教授  
原 靖彦 株式会社山武 主任  
佐々木勝美 ピー・エス・シー株式会社 代表取締役

### 4. 研究実施時期

平成12年4月から14年7月まで

### 5. 本研究に関連して発表した主な論文等

- (1) プロセス機器のための空気圧発電システムの研究、計自学会FULCOM-J講演論文集、30/33 (2000)
- (2) Nonlinear Analysis on Piston Type Pneumatic Vibrator, Proc. of 6<sup>th</sup>FULCOM (2000)
- (3) 空気圧バイブレータの非線形特性解析、機械学会論文集(C)、66-652、3842/3848 (2000)
- (4) 空気圧・電気エネルギー変換器の効率解析、SICE学術講演会論文集、CD-ROM (2001)
- (5) 空気圧制御弁のための静圧軸受に関する研究、秋季フルードパワーシステム講演論文集、55/57 (2001)
- (6) 段付き形静圧軸受の特性解析、日本フルードパワーシステム学会論文集、投稿予定 (2002)

### 6. 内外における関連研究の状況

余剰電力を空気圧に変換し貯蔵して再び発電する機構については、ドイツなどを中心に研究がなされている。そこで用いられる発電機は通常の蒸気タービンであり、比較的低压である空気圧を用いて如何に効率よく発電するかが研究されている。提案した空気圧発電機機構は上記のような大規模なものではなく目的も異なることから、これらの技術を適用できない。国内外を含めて特にプロセス機器の電源に着目した研究はなされておらず独創的な研究である。プロセス機器に個々に取り付けるためには非常に小型で、しかも簡単な構造であることが望まれるが、現在、この要求を満たす空気圧システムは皆無である。

### 7. 今後の発展に対する希望

本研究の最終的な目標はプロセス機器を空気圧で駆動することであり、これを実現できないと有用性が薄れる。このためには空気圧発電機が発生できる電圧をプロセス機器が駆動できるまで高めること、またプロセス機器の消費電力の変動しても余剰な電力を発生してしまうのでそれを調整する機能を付加することが必要である。前者は昇圧回路など電氣的な回路を追求していく必要があり、後者はバイブレータ自身に調整機能を持たせる必要がある。今後は、これらの課題に取り組み最終的な目標を是非、達成したい。