

論文の内容の要旨

論文題目 ウェーブロータ内部の波動流れに関する研究
ーガスタービン要素への応用ー

氏名 岡本 光司

ウェーブロータは、ガスタービンと組み合わせて用いることによって、その性能を飛躍的に向上させることが期待されている回転機械である。その構造は、セルと呼ばれるチューブを円筒状に並べたロータと、セルに空気と燃焼ガスを給排気するためのポートから構成されており、セル内部に発生する衝撃波の非定常運動を利用して空気を圧縮する(Fig.1)。そのため、従来の翼列機械に比べて圧力比や耐熱等の面でいくつかの有利な点を有しているが、各ポートの形状とセル内部を伝播する衝撃波がセルの端に到達するタイミングを調和させる必要があるため、その設計は非常に難しく、ガスタービンへの適用は未だ研究段階である。そこで本研究では、ウェーブロータの内部流動構造、ならびに空気圧縮を行う衝撃波について、実験及び2次元数値解析の両面から解明することを目的とした。特に、過去の研究において、相対運動するポートとセルとのクリアランスとセル幅が性能に大きく影響を与えるという報告がなされていることから、これらが内部流動に対してどのように影響を与えるのかについて解析を行った。さらに、ウェーブロータの設計を行う際に必要となる衝撃波の伝播速度と強度を予測するための1次元全体解析モデルを構築し、ウェーブロータ全体の波動流れをシミュレートするのに役立たせることも目標とした。

本研究で新たに工夫した点としては、まず、空気圧縮の担い手である衝撃波を観測するために、本来回転しているロータを固定し、逆に給排気ポートを回転させるような実験装置を独自に考案し、これを用いてシュリーレン法による衝撃波の可視化及び壁静圧測定を行った(Fig.2)。なお、ここでは **Gas High Pressure Port** がセルに対して開くことによって発生する

衝撃波を **Primary Shock Wave**、その反射衝撃波を **Secondary Shock Wave** と呼ぶこととし、これらの衝撃波によってセル内部の空気は圧縮される。

次に、ロータ平均径面における 2 次元数値解析を行った。ここで、クリアランスを介して外部へ漏れ出る流れを考慮した場合と考慮しない場合の解析を行ったところ、クリアランスを考慮した場合の結果が実験結果と良く一致しているのが確認できた。

さらに、セル幅を 1.5 倍及び 2 倍にして解析を行った。これは、ポートはセルに対して徐々に開閉するため、ロータ回転数が同じでセル幅が 2 倍になると、あるポートがセルに対して全閉の状態から全開の状態になるのに 2 倍の時間がかかることになり、セル内部流動の 2 次元性が増すことを意味する。Fig.3 に、セル中央部での壁静圧の時間履歴についてセル幅を変えた場合の数値解析結果の比較を示す。このグラフからセル幅の影響は、**Primary Shock Wave** の集積、**Secondary Shock Wave** 後流の静圧、に影響が現れているのが分かる。そして、これらの影響は、実験結果にも現れているのが確認された。

一方、クリアランスの影響について考えると、クリアランス部の流れはロータ半径方向と円周方向に分けて考えることができる。ロータ半径方向の流れは、外部への漏れ流れであるが、ロータ円周方向の流れは隣り合うセルとの干渉という形で現れると考えられる。そこで、3 本のセルを同時に解析し、セルが 1 本の場合とどのような相違点があるかを調べた。その結果、隣のセルにおける衝撃波反射の際にクリアランス部を通過して干渉波が発生すること、及び、流入ガスの迎角が大きく変わることが分かった (Fig.4,5: 密度分布とベクトル図)。また、クリアランスの大きさを変えることによって、**Secondary Shock Wave** の強度に影響が現れ、特にクリアランスが大きい場合には **Secondary Shock Wave** と干渉波の強度が同程度になる場合があることを解析と実験の双方から確認した。

最後に、ウェーブロータをガスタービン要素として応用する実用性の面に言及する。前述の内部流動解析結果を元に、全体解析を行うための 1 次元全体解析モデルを構築したところ、干渉波を含めた圧力波の伝播に関して 2 次元解析結果と非常によく一致することが確認された。そこで、この 1 次元全体解析モデルを用いて、NASA Glenn Research Center がガスタービン用に設計したウェーブロータを対象に解析を行った。まず、設計点において解析を行ったところ、内部流動の面から見ても確かに設計点状態で作動していることが確認された。次に、修正回転数を変化させた場合の設計点外作動を解析したところ (Fig.7)、修正回転数が遅い場合には **Secondary Shock Wave** が Gas High Pressure Port へ入射してしまうが、それ以外については非常に安定して作動することが判明した。一方、修正回転数が速い場合には、**Primary Shock Wave** が Air high Pressure Port へ抜け出てしまい、**Secondary Shock Wave** が発生しない状態も懸念されるが、燃焼器温度を上昇させることによってある程度までは回避できることが分かった。ただし、燃焼器温度には上限があるため、修正回転数が速い側の方が遅い側に比べて制限が厳しいと考えられる。さらに、修正流量を変化させた場合の解析を行った (Fig.8)。修正流量が少ない場合、**Primary Shock Wave** がセル端に到達するタイミングが多少早くなること以外は、ほとんど設計点状態と同じ状態である。一方、修正流量が多い場合は、**Secondary Shock**

Wave がセル端に到達するタイミングが遅くなることによって、内部流動の状態が複雑になっていることが分かった。以上のとおり、構築した 1 次元全体解析モデルはガスタービン要素としてウェーブロータを応用する際の実用的な指針を得るのに非常に有効であることが結論づけられた。

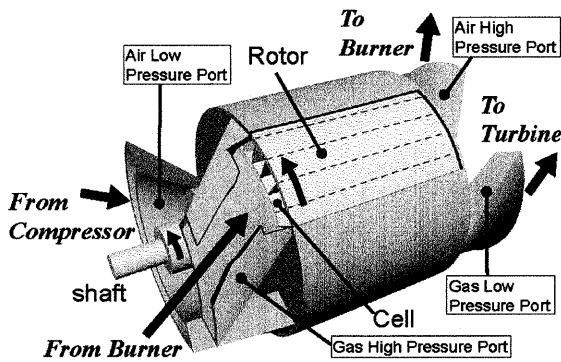


Fig.1 ウェーブロータ

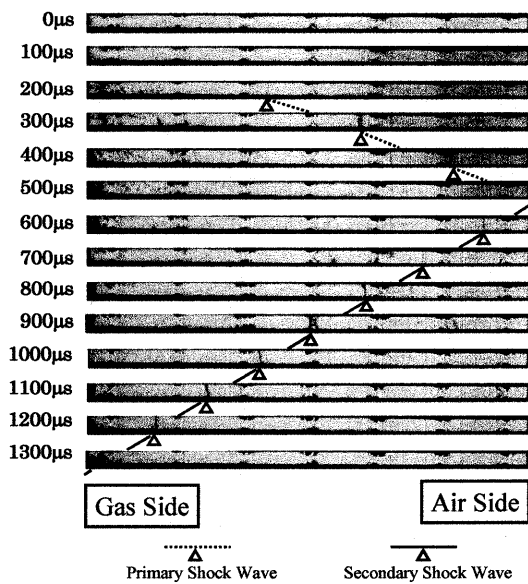


Fig.2 シュリーレン写真

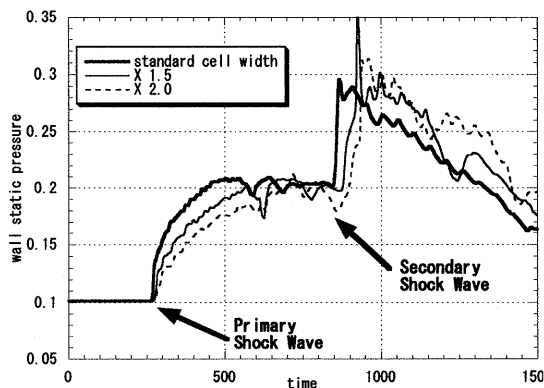


Fig.3 壁静圧[セル幅比較]

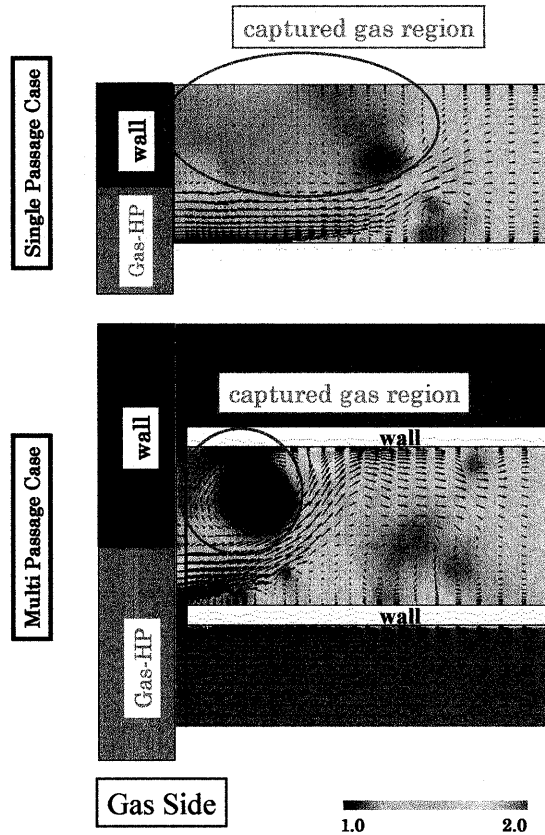


Fig.4 ガス流入角の違い

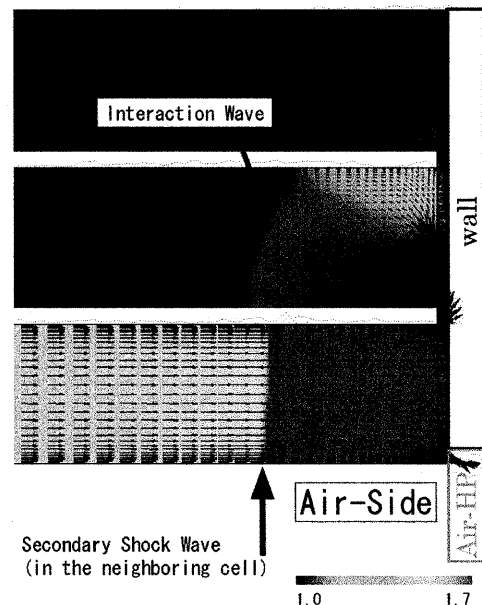


Fig.5 干渉波の発生

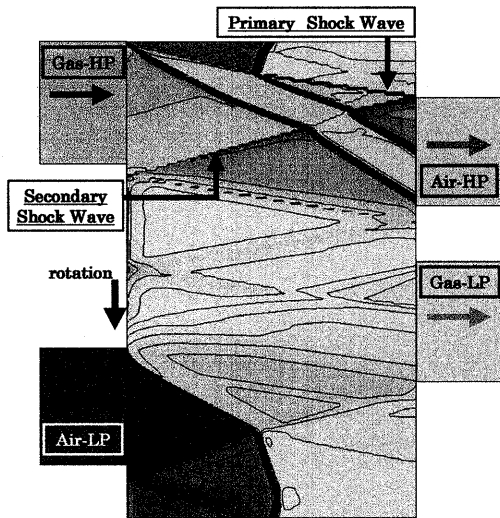


Fig.6 全温分布 (設計点)

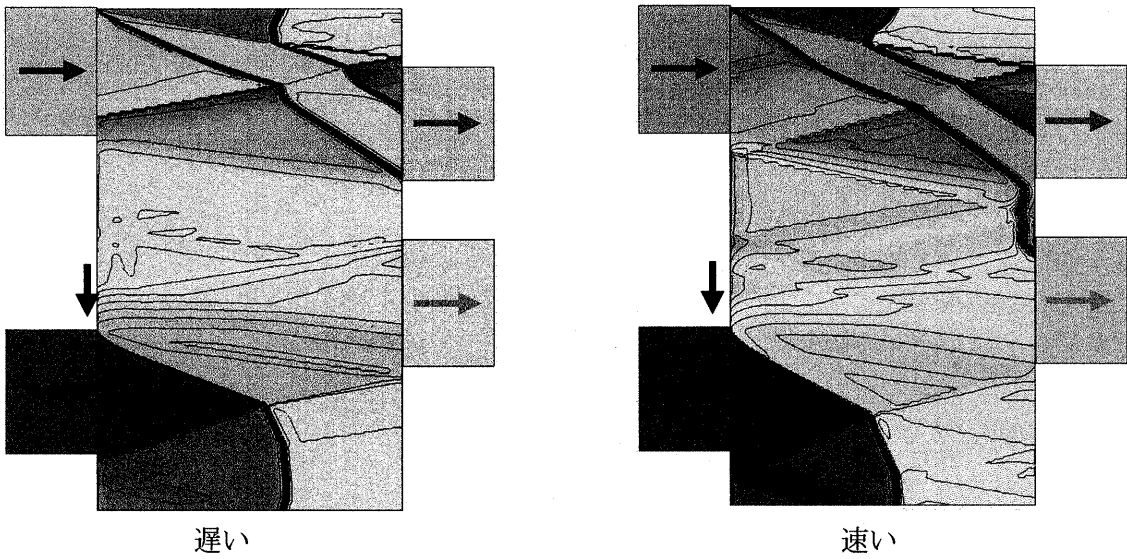


Fig.7 全温分布 (修正回転数)

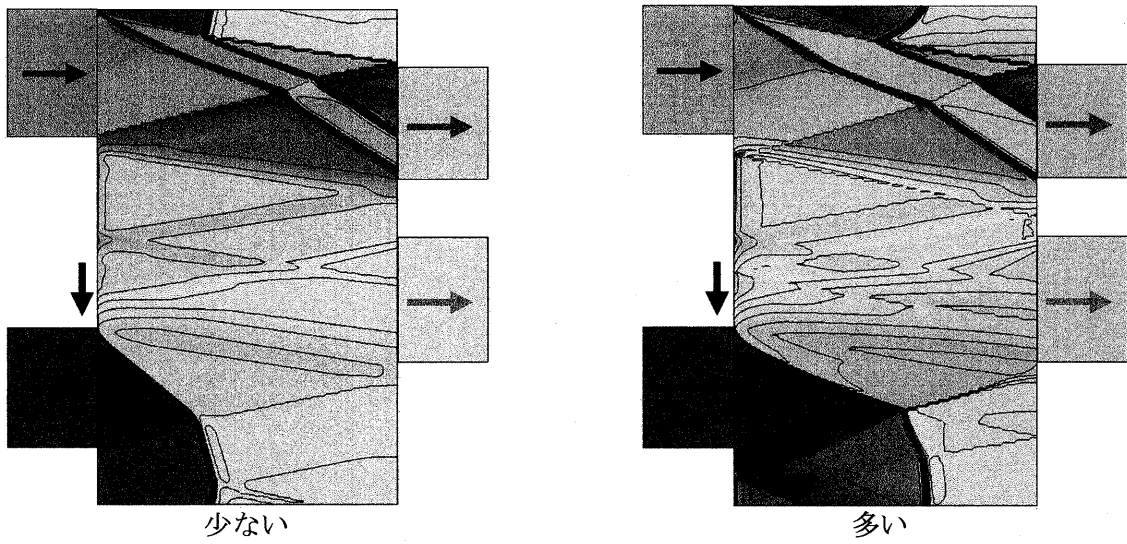


Fig.8 全温分布(修正流量)