

# ラビリンスシール形状の最適化に関する研究

## Numerical Investigation on Shape Optimization of Labyrinth Seal

- 大野貴雄, 東理大院, 〒162-8601 東京都新宿区神楽坂1-3, E-mail : j4504608@ed.kagu.tus.ac.jp  
 因幡和晃, 東理大工, 〒162-8601 東京都新宿区神楽坂1-3, E-mail : inaba@rs.kagu.tus.ac.jp  
 戸田和之, 千葉科学大学, 〒288-0025 千葉県銚子市潮見町3番地, E-mail : ktoda@cis.ac.jp  
 山本誠, 東理大工, 〒162-8601 東京都新宿区神楽坂1-3, E-mail : yamamoto@rs.kagu.tus.ac.jp  
 Takao OHNO, Tokyo Univ. of Science, 1-3, Kagurazaka, Shinjuku-ku, Tokyo, 162-8601  
 Kazuaki INABA, Tokyo Univ. of Science, 1-3, Kagurazaka, Shinjuku-ku, Tokyo, 162-8601  
 Kazuyuki TODA, Chiba Institute of Science, 3, Siomi-cho, chosi, Chiba, 288-0025  
 Makoto YAMAMOTO, Tokyo Univ. of Science, 1-3, Kagurazaka, Shinjuku-ku, Tokyo, 162-8601

The present study focuses on a straight-through-flow type labyrinth seal to decrease leakage flow rate, which is commonly used in a current gas turbine. First, the labyrinth shape is optimized with a gradient method. Investigating the numerical results for the flow fields in the optimized and the non-optimized shapes, the reason why the pressure drop increases is numerically clarified. Second, the effect of axis rotation is investigated. Finally, based on the insights obtained from the computations, a more desirable labyrinth seal configuration is proposed, and the performance is numerically verified. The numerical results confirmed that the newly proposed seal has the best performance to suppress the leakage flow rate.

### 1. 緒言

先進ガスターインの研究開発において、漏れ流量を制御することが1つの技術的課題となっている。動翼での1%の漏れはタービン性能を1%低減せざるを得ない。この問題を解決する上で、漏れ流量を低減させる装置としてラビリンスシールの利用が挙げられる。ラビリンスシールとはガス漏れを抑制するための非接触型シールで、複数の歯とキャビティを持ち、これにより流路を屈曲させるものである。流路の屈曲は圧力損失を増加させ、その結果漏れ流量が減少する。

本研究では、直通型ラビリンスシールを対象とする。まず、ラビリンスシール内の流れ場を再現するのに適した乱流モデルを選定するために各モデル間の比較を行う。そしてローター軸の回転がない状態で歯の傾斜角の最適化を行うことで、歯の傾斜角が流れにどのように影響するのかを確認する。続いてローター軸の回転が流れにどのような影響を及ぼすのかを検証する。これらの知見に基づき理想的な形状を提案し、その性能を検討することを目的とする。

### 2. 最適化

最適化とは、設計変数を変化させ、最小な目的関数を実現する設計変数の組み合わせを探索する問題である。本研究では、設計変数を修正するごとに順解析(流れ場計算)を行い、目的関数を求める。数值的形状最適化は、南雲ら(2002)の非線形最適化手法である修正勾配法を用いて行われた。

### 3. 数値計算方法

流れ場を圧縮性乱流場と仮定し、軸対称円筒座標系を用いる。乱流モデルは、Lam-Bremhorst(1981), Launder-Sharma(1974), Shimada-Nagano(1996)の低レイノルズ数型 $k-\epsilon$ モデルを採用した。

計算条件はRhodeの実験に準じた。各数値を表1に示す。

Table 1 Computational Conditions

Re	Vc (m/s)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\mu$ (kg/m·s)	$\omega$ (rad/s)
55,300	100.0	1.2	$1.82 \times 10^{-5}$	0.0/523.3

### 4. 結果と考察

本研究において、最適化手法を用いることで、歯が下流側に傾斜した場合に圧力損失が最大になることがわかった。この知見と経験則に基づき、新たに設計したラビリンスシールの流線を図1に、乱流運動エネルギー分布を図2に示す。1枚目の歯が上流側傾斜の場合、流れが強く縮流し、歯の先端付近に小さな剥離渦が発生し、上流側歯先端付近において乱れが増幅されている。さらに、2枚目以降の歯が下流側に傾斜していると上流側歯先端付近において乱れが増幅される。以上の結果より、新提案形状はラビリンスシールのより理想に近い形状であることが確認された。

### 5. 結論

本研究において以下の知見が得られた。

- ・乱流モデルはL-B, S-N, LSの順に速度や乱流運動エネルギーを過大予測する傾向があるが全体的な予測性能に大差はない。
- ・非線形最適化手法を用いることで圧力損失が最大となるラビリンスシール形状を求めることが出来た。
- ・圧力損失が最大となる歯の傾斜角は約65°である。
- ・圧力損失が発生する要因は流れの屈曲と乱流運動エネルギーの増幅であることがわかった。
- ・ローター軸の回転は、正確にシール性能を予測するために考慮すべきである。
- ・新提案形状(1枚目の歯は上流側傾斜、2枚目以降は下流側傾斜)は漏れ流量を低減するためにより理想に近い形状であることを確認した。



Fig.1 Streamline in New Proposal Shape

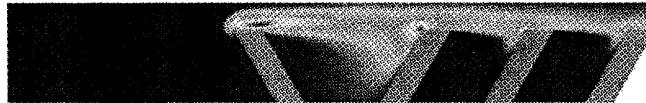


Fig.2 Turbulence Kinetic Energy Distribution in New Proposal Shape