タービン強制冷却装置

Forced-Air Cooling Apparatus for Steam Turbine

木下 哲彦 T. Kinoshita
藤原 敏洋 T. Fujiwara
内田 博 H. Uchida

事業用蒸気タービンは高温・高圧の蒸気により駆動されており，定期点検などで車室を開放する場合には，分解可能な温度まで冷却するのに通常4～6日もの時間が必要であった。一方，近年の厳しい電力事情から，ユーザより工事期間の短縮を厳しく要求される傾向にあり，工事工程短縮技術の開発は焦眉(び)の急を要している。このような背景から，タービンの高温部品を強制的に冷却し，冷却時間を大幅に短縮することにより工期短縮を可能としたタービン強制冷却システムの開発を行った。以下にその概要を述べる。

Commercial steam turbines are driven by superheated steam, so that they require about four to six hours to cool down before their casing can be removed. At the same time, inspection schedules are becoming shorter because of the recent critical power demand. As a result, the development of techniques allowing inspection schedules to be shortened is of great importance.

For these reasons, we have developed a forced-air cooling apparatus for steam turbines. This apparatus permits the inspection period to be significantly reduced by accelerating the cooling speed, through blowing forced air into the high-temperature section of the turbine.

This paper reports on the functions and effect of the forced-air cooling apparatus.

1 まえがき

現在，わが国の電源構成は火力62%，水力22%，原子力16%と火力の占める役割は依然として大きい。

最近では原子力発電の普及と，昼夜間の電力需要差の拡大などから，火力発電設備が変動負荷調整用としての任務を担うようになり，運転条件は以前に比べて格段に過酷化される傾向にある。このような火力発電設備にあって，その代表的構成要素である大出力の事業用蒸気タービンは，通常運用中は高温・高圧の蒸気により駆動されている。したがって，分解・点検の必要が生じた場合にもタービン構成部材の熱保有量が大きく，作業可能な温度に達するのに現状の自然冷却では約4～6日の冷却期間が必要であった。

このような背景から，タービン停止後に高温部品を強制的に冷却し，分解開始までの冷却時間を大幅に短縮することを目的としたタービン強制冷却システムの開発を行い，実用化の見通しが得られた。

2 開発の経緯

2.1 冷却方法の決定

高温部品の冷却方法としては，下流側を大気開放して，上流側から圧縮機により冷却空気を圧入する方法を採用した。この方法は比較的容易に冷却空気の流量を増やすことができ，高密度の空気を大量に圧入することで大きな冷却効果を上げることが可能である。

図1 にシステムの概要を示す。このシステムは冷却空気を圧入する圧縮機およびサイレンサから成る冷却空気発生装置，必要な冷却空気を冷却部に送り込むための送入側配管および付属弁，冷却後の空気を系外に排出する排出側配管および付属弁から構成される。

蒸気通路部とチャンバ部 (外部車室と内部車室の空間部) の二つの経路に流す方法を採用した。二つの経路の冷却空気の流量は，送入側配管に設置した流量制御弁により適度な流量に制御を行う。これにより回転部と静止部の冷却速度を調整し，適度な相対間隙(げき)を維持しながらかつ急速に高温部品を冷却することが可能である。

2.2 解析プログラムの開発

強制冷却中のタービン各部の温度，回転部と静止部の伸び差および冷却空気の流量条件による冷却特性の変化を総合的に評価するため，解析的な手法は不可欠である。これらの評価を行うため，従来の非定常伝熱解析技術を応用した解析プログラムの開発を行った。

このプログラムは，実機形状をモデル化し，微小要素に分割したうえで各部の熱収支を計算し，全体の温度分布を求める方法をとっている。各部の温度分布が求まれば回転部と静

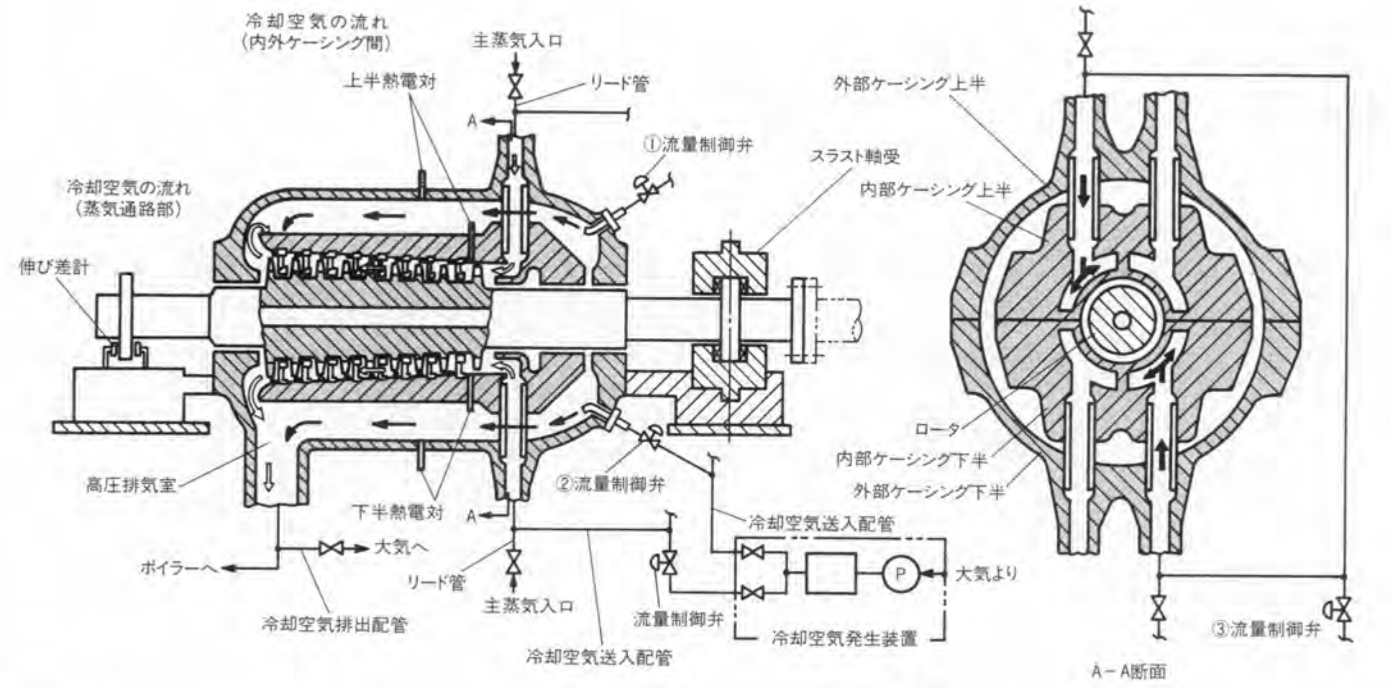


図1．強制冷却システム概要（高圧タービン）　蒸気通路部と内外ケーシング間の二つの経路に冷却空気を流し，強制冷却する。
Forced-air cooling apparatus for steam turbines

止部の熱膨張量が計算でき，これにより回転部と静止部の非定常の伸び差についても評価が可能である。

この方法は，一度モデル化を行えば境界条件の変更が容易であり，冷却条件について比較的短時間に数多くの検討を行うことができるため，それぞれの機種に応じた最適冷却方式，冷却条件の検討に使用する。

2.3　解析プログラムの検証

解析プログラムの評価を行うため，モックアップによる検証試験を行った。

図2 にモックアップの外形を示す。モックアップは実機の内部車室と外部車室を約1/2のスケールで模してある。

モックアップを電気炉に入れ均一に加熱した後，炉から取り出してチャンバ部にあたる空間に冷却空気を流し冷却特性を計測し，これと解析とを比較した。

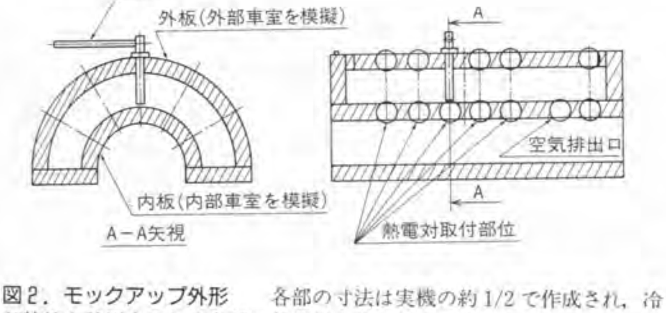


図2．モックアップ外形　各部の寸法は実機の約1/2で作成され，冷却特性を計測するため各部に熱電対を取り付けてある。
Outline of mock-up

検証の結果，解析プログラムを用いて計算した予想冷却特性と実際のモックアップ冷却特性には良好な一致が確認され，この解析プログラムの信頼性が証明された。

2.4　実機への適用計画

50 Hz，600 MW クロスコンパウンド型タービンを対象にこのシステムの適用を計画し，開発した解析プログラムで冷却特性の解析を行った。解析条件として以下の項目を満たすよう空気流量を求め，その場合の冷却特性を評価した。

(1)　冷却開始から冷却完了までの時間を48時間以内を目標とする。

(2)　冷却空気の圧縮機への吸込み条件は標準状態（大気圧，20℃）とする。

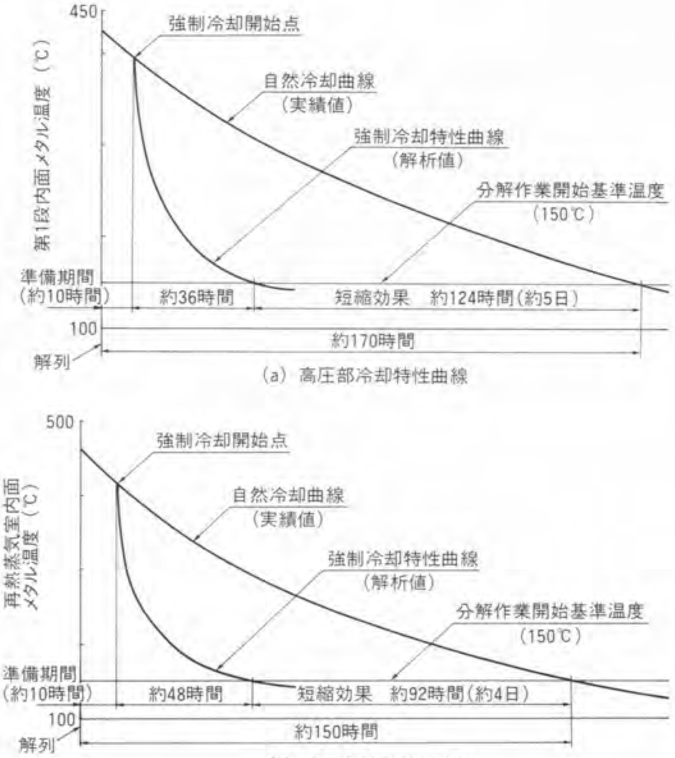
(3)　強制冷却開始は車室の熱応力および圧縮機設置などの準備時間を考慮してタービン停止後10時間後とする。

(4)　冷却中の回転部と静止部の非定常伸び差が，設計間隙に対して問題がない範囲とする。

図3 に冷却特性を解析した結果を示す。流量を最適に設定した場合，高圧タービンで約36時間，中圧タービンで約48時間で冷却が可能であり，高圧タービンで約5日，中圧タービンで約4日の冷却期間短縮が可能である。

3　実機への導入例

このシステムの適用初号機として東京電力㈱姉崎3号機（50 Hz，600 MW クロスコンパウンド機）に導入されることになり，実際の工事に向けて，冷却空気の系統について詳細設計



（a）高圧部冷却特性曲線

（b）中圧部冷却特性曲線

図3．50Hz，600MWクロスコンパウンド機の冷却特性　高圧タービンで約5日，中圧タービンで約4日の冷却時間短縮が可能である。
Cooling effect on 50Hz-600MW cross-compound machine

を行った。

詳細設計を行うにあたり，客先と打合わせを重ね，最終的に以下の特長をもつものとした。

(1)　圧縮機およびサイレンサなどで構成される冷却空気発生装置は他のユニットと共通設備とするため，移動用の共通ベースに配置し，使用時に冷却空気配管との接続部へ移動・据付を行う方式を採用する。

(2)　タービン通常運転中の蒸気漏洩(えい)を防止するため，冷却空気配管と通常配管は2重弁で仕切りを行う。

(3)　冷却空気配管の分岐点にヘッダを組み，流量制御弁を集中させることで流量調整時の操作性を配慮する。

(4)　冷却空気用配管と通常配管の取合い部は既設の車室および配管形状を考慮して，冷却空気が速やかに流れるように配慮する。

(5)　各部を冷却し，高温となった冷却空気は排出配管によりひとまとめにして屋外に排出する。

このシステムは1994年9月からの定期点検工事で東京電力㈱姉崎3号機へ納入に向けて導入工事が始まり，1995年2月に試運転が行われた。

4　あとがき

タービン強制冷却システムは工事工程短縮の有力な手段であり，今後ますますその有用性を高めていくものと考えられ，さらにいっそうの技術力向上を図る所存である。

謝　辞

このシステムの実用化にあたり数々の有益なご指導をいただいた東京電力㈱の関係者各位に深く感謝の意を表するしだいである。

木下　哲彦　Tetsuhiko Kinoshita
1990年入社。蒸気タービンの保修設計業務に従事。現在，京浜事業所タービンプラント機器部。
Keihin Product Operations

藤原　敏洋　Toshihiro Fujiwara
1982年入社。蒸気タービンの開発・設計に従事。現在，京浜事業所タービンプラント機器部主務。
Keihin Product Operations

内田　　博　Hiroshi Uchida
1973年入社。蒸気タービンの設計に従事。現在，火力統括部火力改良保全センター課長。
Thermal Power Plant Engineering Div.