



## 研究用原子炉 JRR-3 の 2次冷却設備冷却塔の保守管理

Maintenance of the Cooling Tower of the JRR-3's Secondary Cooling System

福島 学 大和田 稔 太田 和則 竹内 正樹  
後藤 真悟 今橋 正樹 寺門 義文

Manabu FUKUSHIMA, Minoru OHWADA, Kazunori OHTA, Masaki TAKEUCHI  
Shingo GOTOU, Masaki IMAHASHI and Yoshibumi TERAKADO

東海研究開発センター  
原子力科学研究所  
研究炉加速器管理部

Department of Research Reactor and Tandem Accelerator  
Nuclear Science Research Institute  
Tokai Research and Development Center

September 2010

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

JAEA-Technology

本レポートは独立行政法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。  
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。  
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ (<http://www.jaea.go.jp>)  
より発信されています。

独立行政法人日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課  
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4  
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency  
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to  
Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department,  
Japan Atomic Energy Agency  
2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan  
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

© Japan Atomic Energy Agency, 2010

研究用原子炉 JRR-3 の 2 次冷却設備冷却塔の保守管理

日本原子力研究開発機構 東海研究開発センター

原子力科学研究所 研究炉加速器管理部

福島 学、大和田 稔、太田 和則、竹内 正樹、後藤 真悟、今橋 正樹、寺門 義文<sup>+</sup>

(2010 年 5 月 7 日受理)

研究用原子炉 JRR-3 の 2 次冷却系設備の一つに冷却塔がある。冷却塔は、炉心等で発生した熱を 2 次冷却設備を介して、大気に放散する設備である。JRR-3 の共用運転を開始して以来、冷却塔の点検保守を定期的実施し原子炉の安全安定運転を行ってきた。

これまで、2 次冷却材温度の制御方式として、送風機の運転台数を増減する方式としてきたが、運転台数が増減した直後は、一時的に 2 次冷却材温度が変動し、その結果熱出力も変動する事象が生じていた。これに対し、送風機の回転数を連続的に調整するように改良することで、外気温の変動が原子炉熱出力の安定性に与える影響を緩和することができた。

本報告書は、これまで実施してきた冷却塔の保守管理及び送風機回転数の制御方式の改良について具体的に記述するとともに、点検記録をまとめ、今後の保守管理に活用できるようにしたものである。

Maintenance of the Cooling Tower of the JRR-3's Secondary Cooling System

Manabu FUKUSHIMA, Minoru OHWADA, Kazunori OHTA,  
Masaki TAKEUCHI, Shingo GOTOU, Masaki IMAHASHI and  
Yoshibumi TERAOKA<sup>+</sup>

Department of Research Reactor and Tandem Accelerator  
Nuclear Science Research Institute  
Tokai Research and Development Center  
Japan Atomic Energy Agency  
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received May 7, 2010)

The cooling tower of the JRR-3's secondary cooling system is used to emit the heat from the core into the atmosphere. The appropriate maintenance of the cooling tower has helped the safe and stable reactor operation. Temperature of the secondary coolant had controlled constantly by changing the number of cooling fans. But, just after the number of fans changed, the temperature changed transiently and consequently the reactor thermal power changed. In order to amend this some weakness, the control system has improved to change the speed of fans constantly. The maintenance and improvement activities with the records of inspection are compiled to be utilized for future work.

Keywords : JRR-3, Secondary Cooling System, Cooling Tower

---

<sup>+</sup>Department of Operational Safety Administration

目次

1. はじめに	1
2. JRR-3 の概要	2
3. 冷却塔の概要	4
4. 冷却塔の保守管理	9
4.1 保守管理の概要	9
4.2 冷却塔の保守管理	9
5. 送風機制御方式の改良	23
6. まとめ	24
謝辞	24

Contents

1. Introduction	1
2. Outline of the JRR-3	2
3. Outline of the cooling tower	4
4. Maintenance of the cooling tower	9
4.1 Outline of Maintenance	9
4.2 Maintenance of the cooling tower	9
5. Improvement of fan control system	23
6. Conclusion	24
Acknowledgements	24

This is a blank page.

## 1. はじめに

JRR-3 2次冷却系設備の冷却塔は、炉心等で生じた熱を2次冷却材で受け取り、大気に放散冷却する設備である。炉の熱出力の安定のためには、冷却塔の適切な保守管理が必須である。冷却塔はその故障により炉の除熱が不可となり、ひいては炉を停止する必要性が生じるため、非常に重要な設備である。共用運転を開始して以来、定期的に点検保守を実施し原子炉の安全安定運転に努めてきた。

本書は、JRR-3においてこれまで実施してきた冷却塔の保守管理について、具体的に記述するとともに点検記録をまとめ、今後の保守管理に活用できるようにしたものである。

## 2. JRR-3 の概要

JRR-3 (Japan Research Reactor No.3) は、最大熱出力 20MW の低濃縮ウラン軽水減速軽水冷却プール型研究用原子炉である。平成 2 年 11 月から改造後の共用運転を開始し、中性子ビーム実験装置及び各種照射設備を装備した原子炉施設として高い中性子束を利用者に提供している。主な冷却系は 1 次冷却系、2 次冷却系、重水系であり、それぞれの使用温度は最大 40℃、36℃、37℃となる。

2 次冷却系は炉心等から生じる熱を熱交換器で受け取り、冷却塔より大気中に放散冷却する目的で設置し、ポンプ、熱交換器、冷却塔、主要弁、主要配管等で構成されている。2 次冷却系設備の系統図を Fig.2.1 に示す。2 次冷却材は冷却塔水槽から 2 次冷却材ポンプにより原子炉建家内の各冷却系の熱交換器に送られ、熱交換により熱を受け取り、冷却塔で蒸発現象により空気に熱を伝え冷却され、冷却塔水槽に戻る循環をしている。

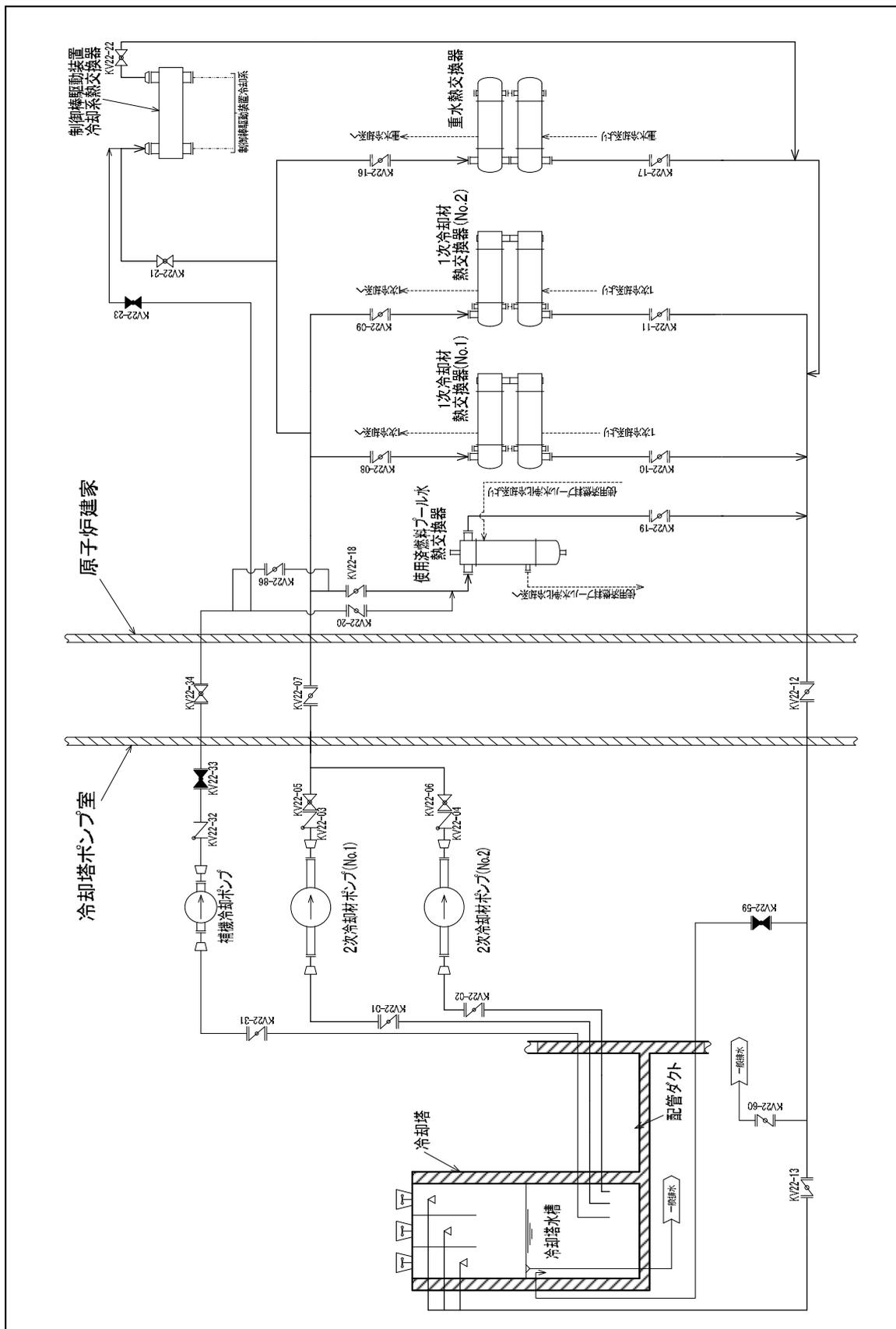


Fig2.1 2次冷却設備の系統図

### 3. 冷却塔の概要

冷却塔は炉心等で生じた熱を受け取った 2 次冷却材を冷却する設備であり、原子炉建家の北東方向に設置される。建家配置図を Fig.3.1 に示す。型式は強制通風式誘引向流型でその構造は 2 次冷却材と空気を直接接触して蒸発現象により冷却する機器である。2 次冷却材は熱交換器から熱を受け取り、送水管により冷却塔内の散水樋に送られ、散水樋から充填物に落水し、ここで送風機により吸上げられる空気と接触して冷却され、下部の冷却塔水槽へ貯留される。一方、空気は空気ローバーより冷却塔内へ送風機により吸入され、充填物で 2 次冷却材と接触し、加熱、加湿され、エリミネーターで同伴水滴を除去し、送風機により塔外へ放散される。冷却塔の仕様を Table3.1、冷却塔の外観及び概略図を Fig3.2 及び Fig3.3 に示す。

送風機は冷却塔の屋上に 3 台設置している。立形上向吐出のクーリングタワー用プロペラファンで、鋼板製円筒形ケーシング内に形鋼製の架台を置き、その中心に減速機を据え付け、減速機出力側の低速軸が上向き、減速機入力側の高速軸は水平とし、伝動軸を介してケーシングの外部に設置している電動機と連結している。なお、ケーシングの上部にはディフューザを取り付け、空気の放散効率を上げている。冷却塔構成機器の仕様を Table3.2 に示す。

冷却塔での冷却は、外気温度に依存するが、送風機の回転数をインバータ制御により可変させ、2 次冷却材温度を一定に保つ温度制御により、原子炉熱出力を安定させている。また、水槽に蒸気配管を設置し、冬季の低出力運転時は蒸気を注入し、過冷却を防いでいる。

Table3.1 冷却塔本体の仕様

名 称		仕 様
型 式		強制通風式誘引向流型
除熱容量		20,500 kW
最高使用圧力		静水頭
最高使用温度		55 °C
冷却材流量		3,200 m <sup>3</sup> /h
冷却材温度	冷却塔入口	36.0 °C
	冷却塔出口	29.9 °C
設計大気湿球温度		27.0 °C
水槽容量		600 m <sup>3</sup>
構 造		鉄筋コンクリート造
送 風 機		3 台
主要寸法 (幅×奥×高)		26×11×12 m

Table3.2 冷却塔構成機器の仕様

項目		仕様	
送風機	台数	3台	
	口径	5400 mm	
	風量	12,500 m <sup>3</sup> /min	
	送風機静圧	16.5 mmAq(at.33.3℃)	
	回転数	190 rpm	
	軸動力	58 kW	
電動機	台数	3台	
	型式	全閉外扇屋外形	
	出力	75 kw	
	回転数	970 rpm	
減速機	台数	3台	
	容量	75 Kw	
	高速軸最高回転数	970 rpm	
	低速軸最高回転数	190 rpm	
	減速比	1/5.1	
	段数	2段	
エリミネーター	材質	硬質塩化ビニル	
散水樋		樋	木製(耐食処理材)
		ノズル・受皿	メラミン樹脂製
送水管		SGP(W)400A	
充填材		硬質塩化ビニル	

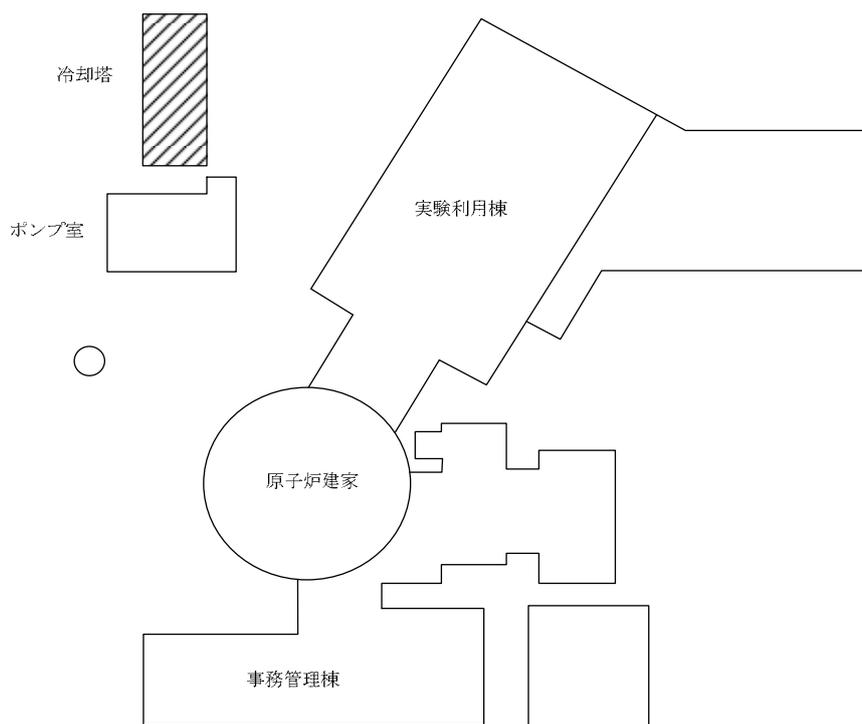


Fig3.1 JRR-3 建家配置図



Fig3.2 JRR-3 冷却塔の外観

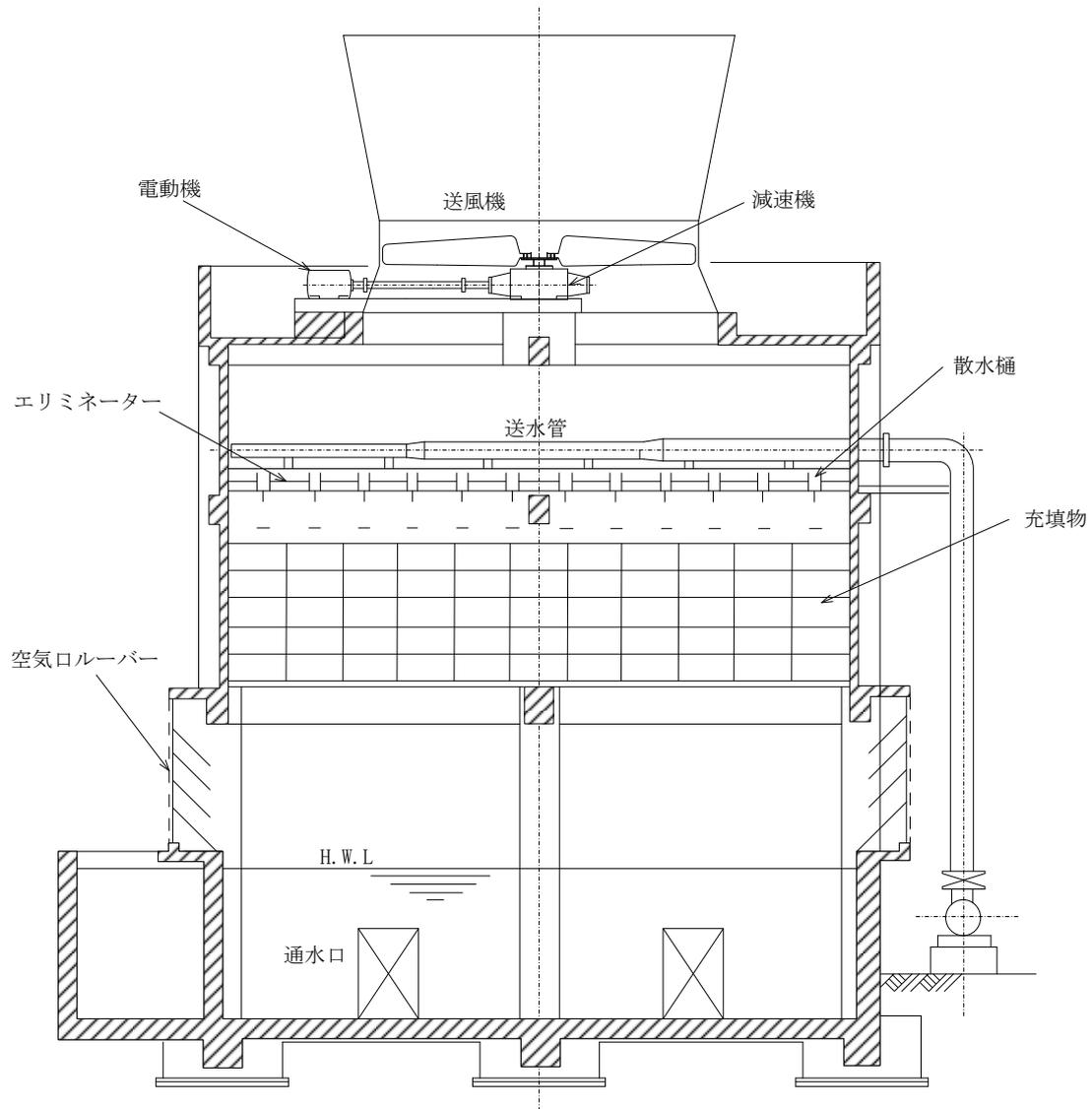


Fig3.3 冷却塔概略図

## 4. 冷却塔の保守管理

### 4.1 保守管理の概要

冷却塔は、運転中は常に湿度の高い環境下であり、腐食の影響を受けやすく劣化しやすいため、適切に保守管理を実施していく必要がある。保守管理は、原子炉の安全安定運転を継続するために予防保全を主体とした管理を行い、定常的な点検整備を実施する定期点検、または数年置きに実施する機器の分解点検及び更新等の保全活動が上げられる。定期点検は定期自主検査期間毎に実施する点検であり、機器の機能や健全性が維持されていることを確認するものである。保全活動は保全計画に基づき実施するとともに、定期点検により得られたデータから必要に応じて更新及び分解点検等を実施することにより冷却塔の機能や健全性を維持するものである。冷却塔の点検実績を Table4.1 に示す。

### 4.2 冷却塔の保守管理

#### 4.2.1 定期点検

冷却塔の定期点検は、施設定期自主検査毎に機器について調整、消耗部品交換後、試験・検査等を必要最小限で実施し、機器の機能維持を図り、機器の健全性を確認している。

##### (1) 機器の調整、消耗部品交換

性能の維持を図るために機器の調整及び消耗部品交換を実施している。送風機については、送風機羽根の固定ボルトを、トルクレンチにより規定トルク値で締め付け緩みがないことを確認している。減速機及び電動機については、オイル交換、定期的なグリスアップを実施し、回転機械の潤滑保持を図っている。減速機、電動機間を接続する伝動軸の軸エレメントを交換し、減速機、伝動軸及び電動機のカップリング間のセンターリング測定を実施し、伝動効率を向上するように調整している。電源部については清掃、絶縁抵抗測定、インバータ単体点検等を実施し、異常のないことを確認している。

##### (2) 作動点検

冷却塔機器について調整、消耗部品交換等の作業終了後、送風機を単機で運転し、電圧、電流、温度、振動、回転数を測定し、健全性の確認をしている。作動点検の基準値を Table4.2 に示す。

温度測定は、電動機ハウジング、電動機軸受、減速機軸受及び減速機ハウジングについて実施している。温度測定記録を Table4.3、Fig4.1 に示す。測定は各軸受温度が飽和するまで行い、軸受温度の確認は、JEC2137 に基づき 1 時間で温度上昇が 2℃以内となることとしている。温度測定の基準値は送風機については JIS B8330、電動機については JEC2137 に基づいており、測定温度から周囲温度を差し引いた温度を上昇温度として、基準値と比較する。測定を行うことで軸受及びハウジングからの異常な発熱の有無により、機器の健全性を確認している。測定の結果、試験実施時の季節の違いによる温度の変動はあるものの、減速機及び電動機について、全て基準値内であり異常な発熱のないことを確認した。ただし、第 12

回定期点検（平成 16 年）において電動機の温度が上昇傾向にあることを確認し、第 13 回定期点検（平成 17 年）電動機を更新することになった。詳細は 4.2.2(2)参照のこと。

振動測定は、電動機出力軸部及び減速機入力軸部において、測定箇所につき、軸平行、軸直角、垂直の 3 方向を測定している。振動測定の基準値は JIS8330 に基づいており、風速、風圧、回転に起因する振動を測定することで据付の異常やセンターリングの不良等を確認している。振動測定記録を Table4.4 に示す。測定の結果、これまでの測定値は基準値に比べ低い値であり、経年劣化等の影響による上昇も見られず、健全であることを確認した。

### (3)水槽清掃

水槽は、定期点検ごとに排水し、清掃を実施している。約 1 年間の運転により、水槽の底部には約 3cm の堆積物が溜まる。この堆積物は空気とともに吸い込まれた土砂、また 2 次冷却材に使用する薬剤（スライム防止剤、防錆防食剤）が沈み有機物として溜まったものである。堆積物は放置すると 2 次冷却系統内に入り込み、流路が複雑で流速が遅くなる箇所では熱交換器の底面等に堆積し除去できなくなることから、水槽には堆積物を残さないように清掃し除去している。

### (4)外観点検

冷却塔の機器について、有害な傷、錆、変形及びオイル漏れ等、目視により異常がないことを確認している。

### (5)系統作動試験

動力制御盤または制御室からの操作により送風機が正常に作動すること、及びインターロック回路が正常に作動すること等、系統全体の作動状況を確認している。試験内容は以下のとおりである。

- ①動力制御盤の操作パネルから送風機の起動停止及び回転数制御等の操作が正常に行えることを確認する。
- ②動力制御盤及び制御室計測制御装置の警報表示が、模擬信号の入力により正常に作動表示することを確認する。
- ③制御室計測制御装置操作画面の「一括運転」、「一括停止」、「個別運転」により、送風機が正常に作動することを確認する。
- ④ 2 次冷却水の設定温度を変更して、送風機が正常にインバータ制御できることを確認する。
- ⑤インバータ運転状態から送風機 1 台が異常停止した際、他の送風機 2 台に影響がないことを運転状態及び動力制御盤の表示により確認する。
- ⑥インバータ運転状態からオイルポンプを異常停止させたときに、送風機がインバータ運転から商用運転に自動で切換わることを確認する。

### (6)性能検査

冷却塔の除熱能力が維持されていることを確認する検査であり、冷却材流量、冷却塔風量、冷却塔伝熱性能が上げられる。冷却材流量は 2 次冷却材ポンプ分解点検終了後、2 次冷却系の系統試験により規定流量が流れていることを確認している。冷却塔風量については、送風機の軸動力を確認することで、風量が維持されていることを確認している。軸動力の測定は、

測定時運転出力、設計状態比重量及び測定状態比重量、これらを代入し、求めた測定値により減速機の主軸（低速軸）への入力量が設計軸動力（基準値）の性能を維持しているのを確認している。なお、冷却塔伝熱性能については、定期自主検査期間では熱源がないため、定期点検では通常確認していない。ただし、今後ディフューザ及び充填材等の伝熱効率に変化を起こす機器を更新した場合は実施する。

軸動力 : 送風機の主軸（低速軸）への入力

設計換算軸動力の算出方法

以下に、設計換算軸動力の算出方法を示す。

$$BkW_{td} = BkW_t(\gamma_d / \gamma_t)$$

$BkW_{td}$  : 設計換算軸動力(kW)

$BkW_t$  : 測定時運転出力(kW)

$\gamma_d$  : 設計状態比重量(kg/m<sup>3</sup>) ( $\gamma_d = 1.13$ )

$\gamma_t$  : 測定状態比重量(kg/m<sup>3</sup>)

基準値 : 58kw±5%以内(55.1 kw～60.9 kw)

#### 4.2.2 保全活動

保全活動は、機械、電気及び構造機器等について、分解点検または更新等、機器の整備を実施している。また定期点検において機器・部品の性能劣化・損傷等の兆候を確認した場合はその都度対応する。

##### (1)送風機の保全活動

送風機は、減速機上向きの主軸（低速軸）に据え付けたハブに羽根を取り付けた構造である。使用する羽根は、初期の材質はアルミニウム合金を使用しており、第15回定期点検（平成20年）に更新するまで17年間使用した。使用開始から10年が経過した第9回定期点検（平成13年）に、浸透探傷試験（JIS Z 2343）を実施し、健全であることを確認した。その後、使用を継続したが経年劣化により全面腐食が著しくなり、第14回定期点検（平成19年）に新規に羽根の製作することとした。製作するにあたり、既設品と同様、材質はアルミニウム合金とすることを検討したが、アルミニウム合金で製作できるメーカーが存在しないことが判明したため、材質をFRP（繊維強化プラスチック）に変更して製作することにした。材質を変更することで性能、強度等に不足が生じないように入念に調査し、FRP製品でも既設品と同等の性能を有する事を確認した。第15回定期点検（平成20年）において羽根を更新し、その後の定期点検により性能が維持されていることを確認した。今後の保全活動として、FRP製の羽根は表面にコーティング材が塗布されており、5年を目安に再コーティングする必要がある。

## (2)電動機の保全活動

電動機は、冷却塔より放散される水蒸気により腐食の影響を受けやすく、内部部品の軸受け及び絶縁材の経年劣化が懸念されるため、予防保全の観点からこれまで定期点検周期 5 年を目安に、分解点検及び更新等を実施している。電動機点検状況一覧を Table4.5 に示す。特に更新以前の電動機は反カップリング側の軸受にグリスアップが出来ない構造であったことから軸受交換時期に注意を払う必要があった。分解点検は 2 度、第 4 回定期点検(平成 7 年)、第 8 回定期点検(平成 12 年)に実施している。点検内容は、内部部品の洗浄、固定子コイル絶縁のワニス処理、軸受等の部品交換を実施し、組立後の無負荷試験により、健全性を確認している。電動機の更新は第 13 回定期点検(平成 17 年)で実施している。更新の経緯は第 12 回定期点検(平成 16 年)の作動点検において、軸受及びハウジングの温度が上昇傾向であることを確認したためである。分解点検の実施も検討したが、設置以来約 16 年が経過し、内部コイル等も劣化していると判断したため、更新を実施した。今後も定期的なグリスアップ、分解点検等の整備を続けることで同様の使用が可能と判断する。

## (3)減速機の保全活動

減速機は、定期点検毎に、オイル交換を実施しているが軸受け及び歯車等の経年劣化が懸念されるため、予防保全の観点から定期点検周期 6 年を目安に、分解点検を実施し、洗浄、手入れ、内部部品の軸受け交換及び歯車更新等を実施し健全性を確認している。

分解点検は、これまでに 3 度(第 4 回定期点検(平成 7 年)、第 9 回定期点検(平成 13 年)、第 15 回定期点検(平成 19 年))実施している。減速機は冷却塔から取り外し工場へ搬送し、分解点検を実施している。第 4 回定期点検及び第 9 回定期点検では軸受等の消耗部品交換のみであったが、第 15 回定期点検では消耗部品交換の他に、軸、歯車などの主要部品に若干の磨耗による損傷が発生しており、歯車の歯面の磨耗量は少ないが、軸との嵌合部が磨耗し、嵌合が弱くなっていたことから交換した。なお、これら部品の交換については、部品の経年劣化の範囲であり、異常な磨耗の発生ではないと判断した。分解点検終了後、減速機は無負荷で運転し、温度、振動、減速比(回転数)、軸振れ量、バックラッシュ等を測定し、その他、減速機ハウジングの PT 検査、外観検査を実施し、健全性を確認している。作動点検の基準値を Table4.6 に示す。

これら部品の磨耗状況は設置から約 19 年間の使用による経年劣化と判断する。今後も定期的なオイル補給、分解点検等の整備を続けることで同様の年数使用が可能と判断する。

## (4)その他構成機器の保全活動

冷却塔内部に設置する散水樋及びエリミネーター等の構成機器は機械部品および電気部品と異なり、劣化がすぐに冷却塔の性能に影響を与えるわけではないが、冷却塔の性能を維持していく上で保守管理は重要である。これまでにエリミネーターは第 7 回定期点検(平成 10 年)、散水樋は第 10 回定期点検(平成 14 年)に更新し、水槽の床面防水塗装は第 5 回定期点検(平成 8 年)に適宜実施している。ケーシング及びディフューザは材質が炭素鋼であり、冷却塔により放散される水蒸気による影響を受け、腐食が発生しやすく補修、塗装を適宜に実施している。

Table4.1 冷却塔の点検実績

点検回数	定期点検実施年月	主な保全活動
第1回	平成3年9月～10月	ケーシング・ディフューザ外面塗装
第2回	平成4年10月～11月	ケーシング・ディフューザ内外面塗装
第3回	平成6年1月～2月	ケーシング・ディフューザ内外面塗装
第4回	平成7年2月～3月	回転数制御方式を採用 電動機 分解点検、軸受交換 減速機の改造 分解点検、軸受交換 オイルポンプ設置
第5回	平成8年6月～7月	水槽床面防水塗装 インバータ更新
第6回	平成9年9月～10月	水槽水位計更新 ケーシング・ディフューザ内外面塗装
第7回	平成10年11月～1月	伝動軸更新 エリミネーター更新 冷却塔外壁塗装 ケーシング・ディフューザ内外面塗装
第8回	平成12年4月～6月	電動機 分解点検及び軸受交換 水槽床面防水塗装
第9回	平成13年10月～11月	減速機分解点検 伝動軸更新 送風機羽根 PT 検査
第10回	平成14年12月～平成15年2月	散水樋更新
第11回	平成15年12月～平成16年2月	動力制御盤部品交換
第12回	平成16年12月～平成17年2月	自動制御盤 PMX 更新
第13回	平成18年2月	電動機更新 インバータ更新
第14回	平成18年12月～平成19年2月	減速機分解点検 ケーシング・ディフューザ内外面塗装
第15回	平成20年4月～5月	送風機羽根更新 オイルポンプ更新
第16回	平成21年9月	伝動軸 No.2 更新 水槽水位計温度計更新

Table4.2 作動点検の基準値

運転条件	測定項目	基準値
商用電源(50Hz)	電圧	定格 400V
	電流	定格 135A 以内
	温度	周囲温度 + 55℃以下
	振動	両振幅 118 $\mu$ m 以下
	回転数	970rpm $\pm$ 7% (電動機軸)
インバータ(50Hz)	回転数	970rpm $\pm$ 7% (電動機軸)
インバータ(20Hz)	回転数	388rpm $\pm$ 7% (電動機軸)

Table4.3 温度測定記録 (1 / 3)

1.冷却塔送風機 No.1

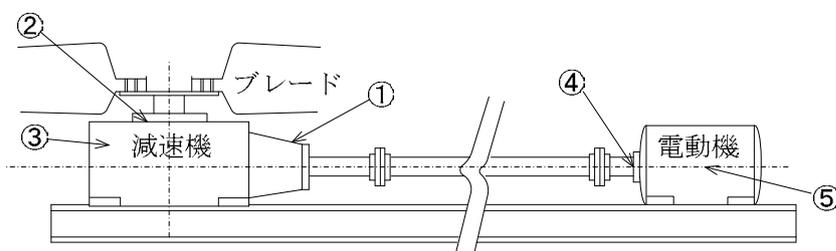
(単位 : °C)

測定箇所		第1回	第4回	第6回	第7回	第8回	第9回	第10回	第11回	第12回	第13回	第14回	第15回	第16回
①	減速機	38.2	33.9	41.4	26.0	45.4	37.9	35.4	36.4	36.8	32.9	36.2	46.8	49.4
②		33.1	25.6	32.1	22.1	35.0	26.3	16.8	26.9	27.6	26.2	31.5	39.2	44.2
③		32.8	22.5	34.0	23.7	40.0	30.5	23.2	30.5	32.1	30.8	32.1	43.3	46.4
④	電動機	55.8	42.2	64.9	46.1	50.0	50.2	48.3	47.2	52.1	34.0	31.4	42.3	42.6
⑤		53.0	49.9	63.5	48.7	53.6	51.4	52.8	47.3	53.6	42.0	39.2	46.9	46.9
周囲温度		21.7	11.0	21.3	7.2	23.6	9.5	7.3	5.9	6.7	5.9	8.3	19.6	23.3

基準値 : 減速機 周囲温度 + 40°C以下、電動機 周囲温度 + 55°C以下

なお、第2回、第3回、第5回の記録は未実施または紛失のため、記載なし。

冷却塔送風機温度測定箇所



- ① : 減速機高速軸受
- ② : 減速機低速軸受
- ③ : 減速機ハウジング
- ④ : 電動機軸受
- ⑤ : 電動機ハウジング

Table4.3 温度測定記録 (2 / 3)

2.冷却塔送風機 No.2

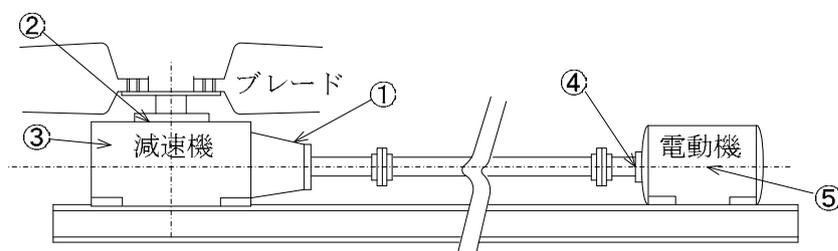
(単位 : °C)

測定箇所		第 1 回	第 4 回	第 6 回	第 7 回	第 8 回	第 9 回	第 10 回	第 11 回	第 12 回	第 13 回	第 14 回	第 15 回	第 16 回
①	減 速 機	38.7	31.4	42.6	31.2	44.1	38.6	37.1	36.6	37.1	35.0	38.3	48.1	50.8
②		31.4	25.2	30.8	23.7	33.1	26.7	21.0	27.8	28.0	26.1	30.1	41.1	45.3
③		35.8	28.3	33.1	20.5	38.2	30.4	23.5	31.2	31.6	31.5	34.2	41.1	44.8
④	電 動 機	52.2	43.3	63.2	46.2	54.5	57.7	47.5	44.7	48.9	32.2	28.1	36.7	42.9
⑤		54.9	48.2	64.2	45.9	55.1	46.6	49.7	49.5	48.5	38.5	37.1	47.1	52.6
周囲温度		21.5	11.0	21.3	7.2	23.6	9.5	7.0	5.9	6.7	5.9	8.3	19.6	23.3

基準値 : 減速機 周囲温度 + 40°C以下、電動機 周囲温度 + 55°C以下

なお、第2回、第3回、第5回の記録は未実施または紛失のため、記載なし。

冷却塔送風機温度測定箇所



- ① : 減速機高速軸受
- ② : 減速機低速軸受
- ③ : 減速機ハウジング
- ④ : 電動機軸受
- ⑤ : 電動機ハウジング

Table4.3 温度測定記録 (3 / 3)

3.冷却塔送風機 No.3

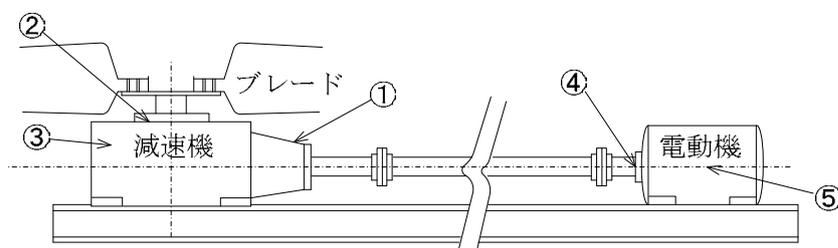
(単位 : °C)

測定箇所		第1回	第4回	第6回	第7回	第8回	第9回	第10回	第11回	第12回	第13回	第14回	第15回	第16回
①	減速機	37.1	37.8	39.1	31.6	45.9	42.4	31.8	36.8	28.5	35.7	30.8	43.0	46.3
②		33.4	26.7	30.1	22.4	34.0	32.0	22.5	28.0	23.1	27.5	33.7	40.4	46.2
③		36.5	25.5	35.7	22.6	40.2	33.6	24.1	31.4	30.0	30.7	32.4	37.9	48.8
④	電動機	57.2	41.7	64.8	54.0	59.1	56.3	42.7	43.9	56.0	34.2	30.2	38.3	46.5
⑤		57.2	42.7	63.7	53.5	64.1	57.3	50.2	50.1	56.5	41.6	36.1	48.5	53.8
周囲温度		24.2	8.0	21.3	7.2	23.6	9.5	7.4	5.9	6.7	5.9	8.3	19.6	23.3

基準値 減速機 周囲温度+40°C以下、電動機 周囲温度+55°C以下

なお、第2回、第3回、第5回の記録は未実施または紛失のため、記載なし。

冷却塔送風機温度測定箇所



- ① : 減速機高速軸受
- ② : 減速機低速軸受
- ③ : 減速機ハウジング
- ④ : 電動機軸受
- ⑤ : 電動機ハウジング

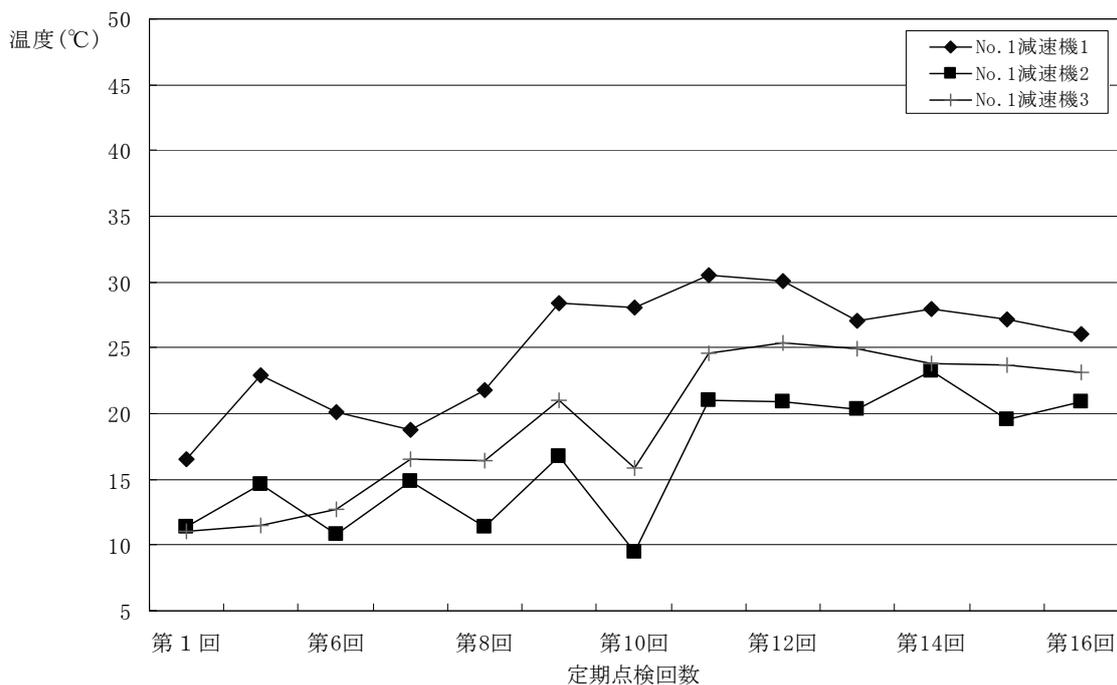


Fig4.1 温度測定記録 (1 / 6)

ファン No.1 減速機の上昇温度の推移 (周囲温度補正)

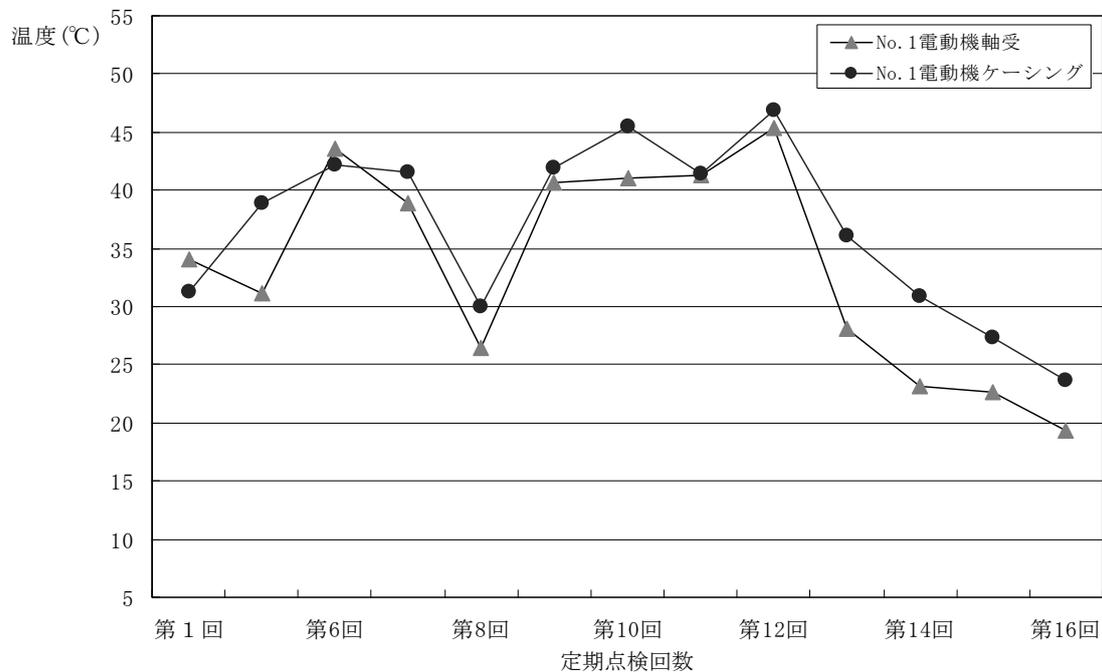


Fig4.1 温度測定記録 (2 / 6)

ファン No.1 電動機の上昇温度の推移 (周囲温度補正)

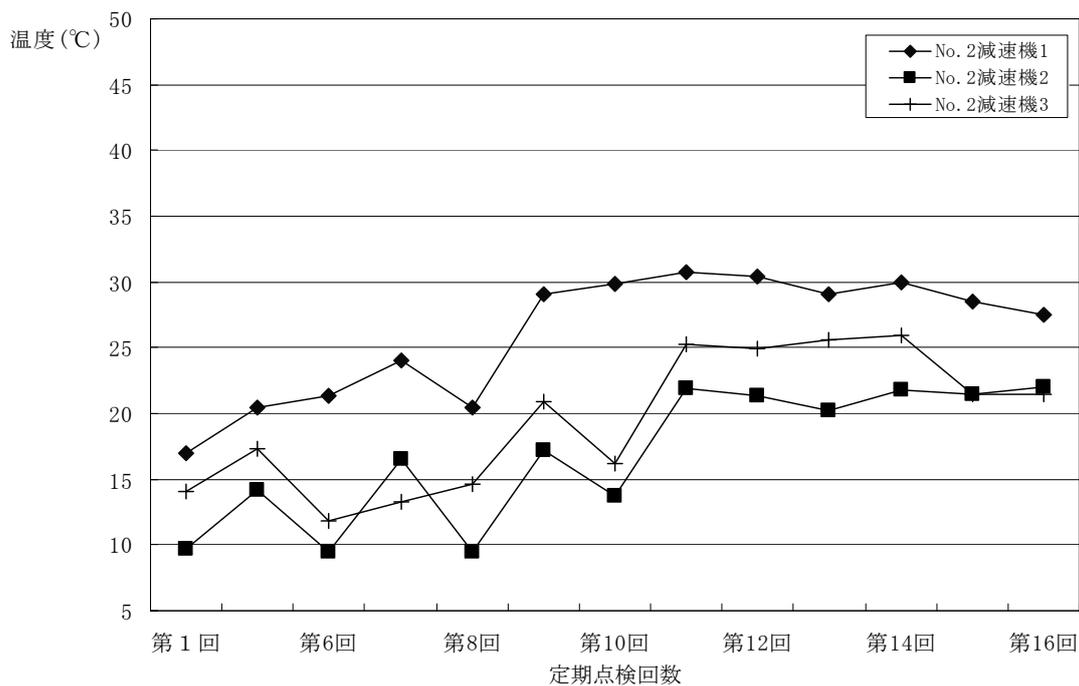


Fig4.1 温度測定記録 (3 / 6)

ファン No.2 減速機の上昇温度の推移 (周囲温度補正)

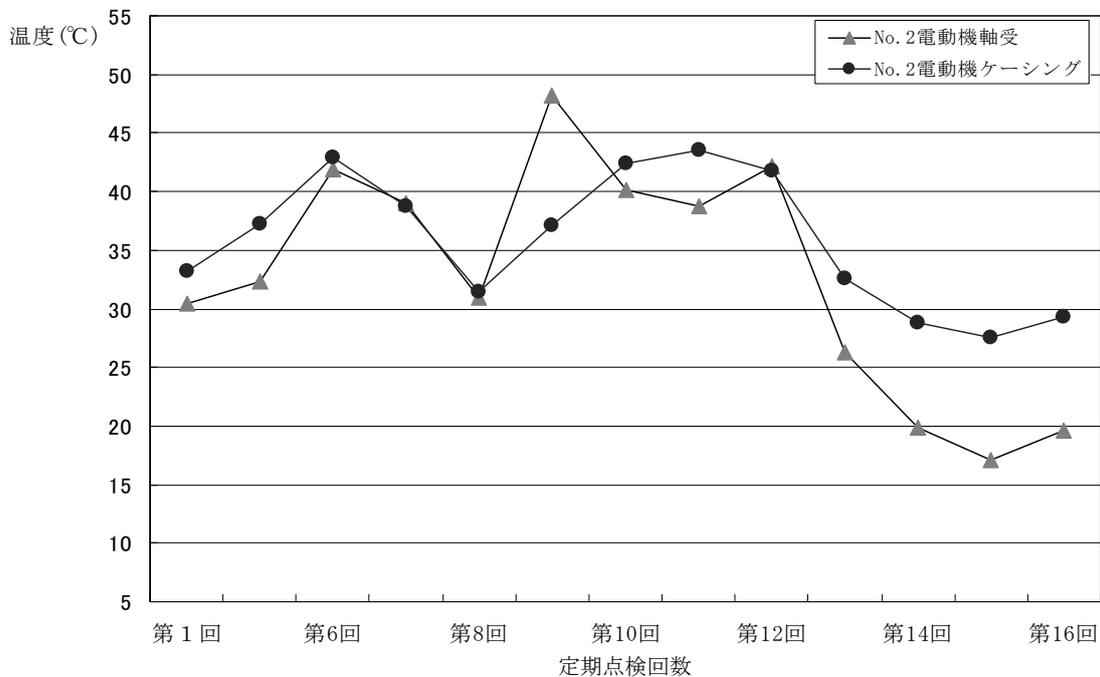


Fig4.1 温度測定記録 (4 / 6)

ファン No.2 電動機の上昇温度の推移 (周囲温度補正)

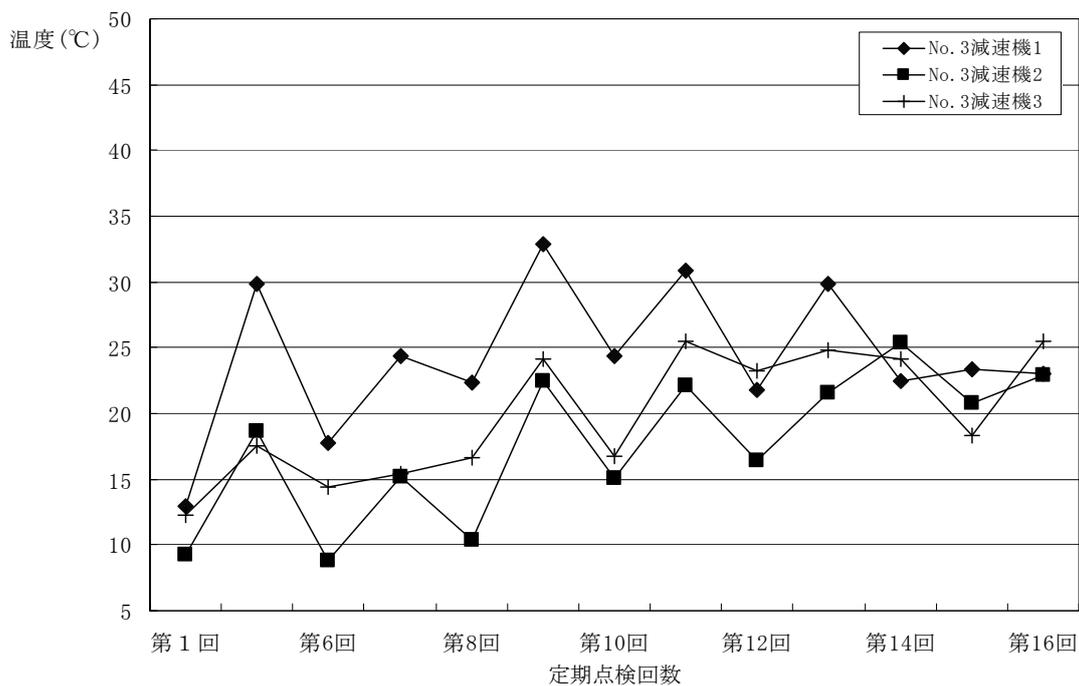


Fig4.1 温度測定記録 (5 / 6)

ファン No.3 減速機の上昇温度の推移 (周囲温度補正)

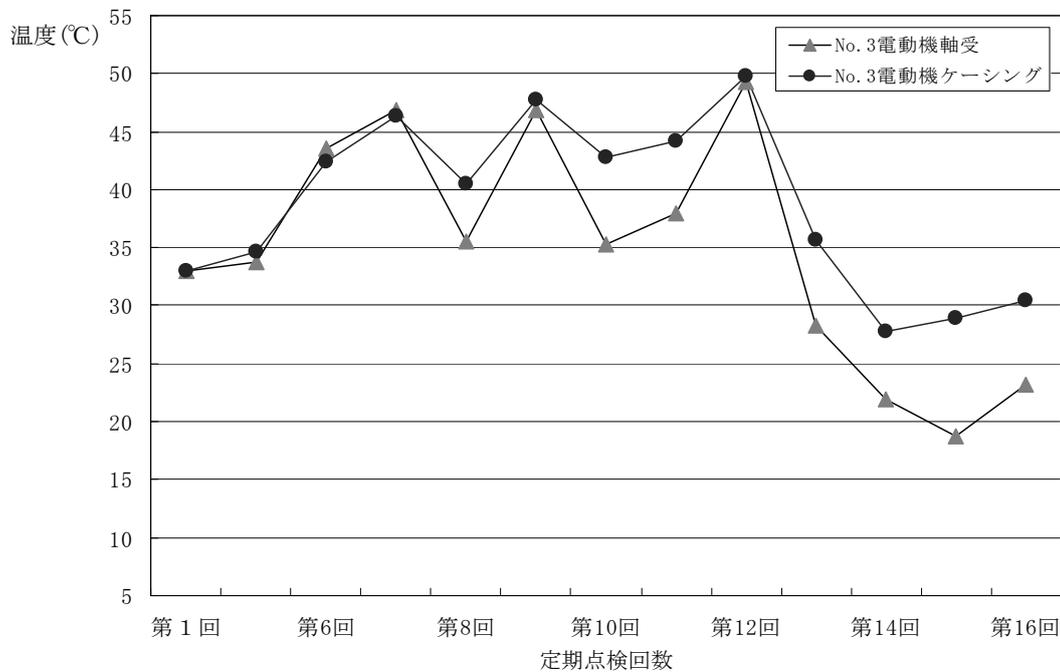


Fig4.1 温度測定記録 (6 / 6)

ファン No.3 電動機の上昇温度の推移 (周囲温度補正)

Table4.4 振動測定記録

測定箇所		第 1 回	第 4 回	第 6 回	第 7 回	第 8 回	第 9 回	第 10 回	第 11 回	第 12 回	第 13 回	第 14 回	第 15 回	第 16 回	
No.1	減速機	軸平行	60	25	26	18	4	15	14	12	11	10	16	12	8
		軸直角	1	35	20	22	12	13	12	13	13	16	62	14	11
		垂直	40	50	28	20	8	11	11	13	9	9	22	31	6
	電動機	軸平行	6	30	8	6	2	5	8	6	2	2	3	4	24
		軸直角	4	40	10	10	2	8	10	9	5	3	4	2	4
		垂直	5	60	12	10	4	7	10	7	4	5	5	3	8
No.2	減速機	軸平行	13	30	22	18	5	14	12	12	12	10	16	11	14
		軸直角	1	40	22	22	5	11	12	12	16	18	15	15	19
		垂直	30	35	28	20	8	13	14	13	11	11	32	18	14
	電動機	軸平行	5	50	10	6	2	6	8	6	2	2	3	3	
		軸直角	6	35	12	10	3	8	10	7	4	2	4	2	4
		垂直	4	80	10	10	2	7	8	7	4	5	5	3	8
No.3	減速機	軸平行	26	50	24	18	6	15	14	12	12	11	54	35	14
		軸直角	10	45	28	26	10	12	12	12	29	13	13	14	9
		垂直	44	80	24	24	8	13	12	10	9	9	20	9	12
	電動機	軸平行	5	20	10	6	2	6	8	6	2	2	5	5	9
		軸直角	6	40	12	10	2	8	10	9	7	6	7	3	8
		垂直	4	65	12	8	4	7	8	7	4	4	4	3	19

基準値：118  $\mu$  m 以下

なお、第2回、第3回、第5回の記録は未実施または紛失のため、記載なし。

Table4.5 電動機点検状況一覧

定期点検回数	第4回定期点検 (平成7年)	第8回定期点検 (平成12年)	第13回定期点検 (平成17年)
実施項目	電動機の分解点検 (第4回、第8回ともに同様の点検内容である。)		電動機の更新
内容	全体 分解点検 固定子 洗浄、 回転子 ダイナミックバランス修正 出力軸 清掃手入れ 軸受 交換 ハウジング 清掃手入れ 全体 組立、塗装		

Table4.6 減速機分解点検作動試験の基準値

測定項目 (商用電源 50Hz)	基準値
温度	上昇温度 40℃以下
振動	振幅 100 μ m 以下
入力軸回転数	仕様 970rpm
出力軸回転数	仕様 194.3rpm
軸振れ量入力軸	0.05mm 以下
軸振れ量出力軸	0.05mm 以下
バックラッシュ測定(入力段)	管理値 MAX 0.19mm
高速軸測定、中間軸固定	管理値 min 0.15mm
トータルバックラッシュ測定	管理値 MAX 0.42mm
高速軸測定、低速軸固定	管理値 min 0.24mm

## 5. 送風機制御方式の改良

冷却塔による冷却は、商用電源(50Hz)による送風機のフル回転運転のみでは外気温度にされ原子炉熱出力が安定しないため、温度制御方式を用いて2次冷却材温度を一定に保つことで原子炉熱出力を安定させている。共用運転を開始した当初は温度制御方式として、台数制御方式を用いていた。この方式は、冷却の必要に応じて送風機3台の台数を増減し、温度制御を行うものである。簡単な制御方式ではあるが、台数が増減した直後は温度が急激に変化するため、熱出力が一時的に乱れる現象が生じていた。これを解消するために第4回定期点検(平成7年)において、全機同一回転数制御方式に変更した。この方式は、2次冷却材温度を一定に保持するためにインバータ制御により3台の送風機の回転数を同一に可変させるもので、以前と比較して原子炉熱出力の変動が少なく安定運転に貢献している。

また、回転数制御を採用するにあたり、減速機に改造を施し、潤滑油の供給方法をハネカケ式から強制潤滑式に変更している。減速機内部の潤滑油の供給は、ねかけ式及びオイルダム式の構造であり、水平軸の回転力を利用して潤滑油をねかけによる供給、また一度オイルダムに溜めて供給ラインに沿って歯車、軸受け等に供給される。しかし、回転数制御方式の導入により回転数が低い状態が続いた場合には、潤滑油のねかけが十分に行えず、歯車、軸受け等に潤滑油の供給不足になることから第4回定期点検(平成7年)においてオイルポンプを設置し、オイルポンプによる強制潤滑式に変更している。

送風機の回転数制御は、回転数制御範囲が広範囲であれば外気温度変化に対応して、温度を一定にできることから、可能な範囲でインバータの周波数下限値を低く設定し、送風機の最低回転数を低くしている。第4回定期点検(平成7年)の時に回転数制御を導入し、インバータの周波数下限値を10Hzに設定して送風機を運転した。回転数制御は良好であったが、落等により時停電が発生した場合、インバータが故障と自己判断し、インバータ運転から商用運転への電源の切り替えが発生してした。このため、第5回点検(平成8年)においてインバータを更新し、時停電対策としてインバータ出力2次側に正波フィルターを取り付け、インバータ容量を75kwから110kwの機種に変更した。これにより停時の電源の切り替えは解消されたが、回転数制御による運転で、インバータの周波数が15Hz前後に降下すると電動機から異音が発生することを確認した。原因は、電動機の出力量75kwに対しインバータ容量110kwでは大きすぎ、周波数が15Hz周辺域になったときにインバータと電動機との協調が取れなくなったためと判明した。インバータ容量を下げられれば原因が解消できたが、当時のインバータ機種では75kwと110kwの中間に位置する機種がなく、対策として使用する周波数下限値を20Hzへ引き上げることにした。それ以後は順調に運転していた。第13回定期点検(平成18年)に、更新計画に基づき2度目のインバータ更新を実施し、インバータ容量90kwの機種に変更したことに伴い、周波数下限値を引き下げることが可能であるかを調査し、平成21年に最低周波数を15Hzにして送風機を運転することに成功した。現在は順調に運転している。今後は状況を見て、10Hzに下げることが検討している。

## 6.まとめ

本報告書により冷却塔の保守管理及び実績についてまとめた。また、冷却塔は屋外に設置していることに加え、送風機から放散される水蒸気により周囲の湿度が高くなることから腐食の影響を受けやすく、経年劣化を十分に考慮する必要がある。

冷却塔の保守管理を適切に実施することは、原子炉の安全安定な運転を行うために重要である。今回まとめた点検時のデータ等を生かして、今後の保守管理を合理的に実施するとともに、トラブル等の予兆の早期発見に努め原子炉の安全安定運転を目指す。

## 謝辞

研究炉加速器管理部山下清信部長のご指導のもと、JRR-3 管理課の方々に技術的な助言、協力を頂きました。ここに感謝の意を表します。

# 国際単位系 (SI)

表1. SI基本単位

基本量	SI基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質的量	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI基本単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m <sup>2</sup>
体積	立方メートル	m <sup>3</sup>
速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s <sup>2</sup>
波数	毎メートル	m <sup>-1</sup>
密度, 質量密度	キログラム毎立方メートル	kg/m <sup>3</sup>
面積密度	キログラム毎平方メートル	kg/m <sup>2</sup>
比体積	立方メートル毎キログラム	m <sup>3</sup> /kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m <sup>2</sup>
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
量濃度 <sup>(a)</sup> , 濃度	モル毎立方メートル	mol/m <sup>3</sup>
質量濃度	キログラム毎立方メートル	kg/m <sup>3</sup>
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m <sup>2</sup>
屈折率 <sup>(b)</sup>	(数字の)	1
比透磁率 <sup>(b)</sup>	(数字の)	1

(a) 量濃度 (amount concentration) は臨床化学の分野では物質濃度 (substance concentration) ともよばれる。  
 (b) これらは無次元量あるいは次元1をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の1は通常は表記しない。

表3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

組立量	SI組立単位			
	名称	記号	他のSI単位による表し方	SI基本単位による表し方
平面角	ラジアン <sup>(b)</sup>	rad	1 <sup>(b)</sup>	m/m
立体角	ステラジアン <sup>(b)</sup>	sr <sup>(c)</sup>	1 <sup>(b)</sup>	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>
周波数	ヘルツ <sup>(d)</sup>	Hz		s <sup>-1</sup>
力	ニュートン	N		m kg s <sup>-2</sup>
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m <sup>2</sup>	m <sup>-1</sup> kg s <sup>-2</sup>
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N m	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup>
仕事率, 工率, 放射束	ワット	W	J/s	m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup>
電荷, 電流量	クーロン	C		s A
電位差 (電圧), 起電力	ボルト	V	W/A	m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup> A <sup>-1</sup>
静電容量	ファラド	F	C/V	m <sup>-2</sup> kg <sup>-1</sup> s <sup>4</sup> A <sup>2</sup>
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup> A <sup>-2</sup>
コンダクタンス	ジーメンズ	S	A/V	m <sup>-2</sup> kg <sup>-1</sup> s <sup>3</sup> A <sup>2</sup>
磁束	ウェーバ	Wb	Vs	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> A <sup>-1</sup>
磁束密度	テスラ	T	Wb/m <sup>2</sup>	kg s <sup>-2</sup> A <sup>-1</sup>
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> A <sup>-2</sup>
セルシウス温度	セルシウス度 <sup>(e)</sup>	°C		K
光照度	ルーメン	lm	cd sr <sup>(c)</sup>	cd
放射線量	ルクス	lx	lm/m <sup>2</sup>	m <sup>-2</sup> cd
放射線種の放射能 <sup>(f)</sup>	ベクレル <sup>(d)</sup>	Bq		s <sup>-1</sup>
吸収線量, 比エネルギー分与, カーマ	グレイ	Gy	J/kg	m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>
線量当量, 周辺線量当量, 方向線量当量, 個人線量当量	シーベルト <sup>(g)</sup>	Sv	J/kg	m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>
酸素活性	カタール	kat		s <sup>-1</sup> mol

(a) SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。  
 (b) ラジアンとステラジアンは数字の1に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の1は明示されない。  
 (c) 測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。  
 (d) ヘルツは周期現象についての、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。  
 (e) セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同一である。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。  
 (f) 放射性核種の放射能 (activity referred to a radionuclide) は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。  
 (g) 単位シーベルト (PV,2002,70,205) についてはCIPM勧告2 (CI-2002) を参照。

表4. 単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI組立単位		
	名称	記号	SI基本単位による表し方
粘力のモーメント	パスカル秒	Pa s	m <sup>-1</sup> kg s <sup>-1</sup>
表面張力	ニュートンメートル	N m	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup>
角速度	ニュートン毎メートル	N/m	kg s <sup>-2</sup>
角加速度	ラジアン毎秒	rad/s	m m <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> =s <sup>-1</sup>
熱流密度, 放射照度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s <sup>2</sup>	m m <sup>-1</sup> s <sup>-2</sup> =s <sup>-2</sup>
熱容量, エントロピー	ワット毎平方メートル	W/m <sup>2</sup>	kg s <sup>-3</sup>
比熱容量, 比エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup>
比エネルギー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup>
熱伝導率	ジュール毎キログラム	J/kg	m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>
体積エネルギー	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg s <sup>-3</sup> K <sup>-1</sup>
電界の強さ	ジュール毎立方メートル	J/m <sup>3</sup>	m <sup>1</sup> kg s <sup>-2</sup>
電荷密度	ジュール毎平方メートル	J/m <sup>2</sup>	m kg s <sup>-3</sup> A <sup>-1</sup>
表面電荷	クーロン毎立方メートル	C/m <sup>3</sup>	m <sup>-3</sup> s A
電束密度, 電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m <sup>2</sup>	m <sup>-2</sup> s A
誘電率	クーロン毎平方メートル	C/m <sup>2</sup>	m <sup>-2</sup> s A
透磁率	ファラド毎メートル	F/m	m <sup>3</sup> kg <sup>-1</sup> s <sup>4</sup> A <sup>2</sup>
モルエネルギー	ヘンリー毎メートル	H/m	m kg s <sup>-2</sup> A <sup>-2</sup>
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル	J/mol	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> mol <sup>-1</sup>
照射線量 (X線及びγ線)	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> mol <sup>-1</sup>
吸収線量率	クーロン毎キログラム	C/kg	kg <sup>-1</sup> s A
放射線強度	グレイ毎秒	Gy/s	m <sup>2</sup> s <sup>-3</sup>
放射輝度	ワット毎ステラジアン	W/sr	m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup> kg s <sup>-3</sup> =m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup>
酵素活性濃度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	W/(m <sup>2</sup> sr)	m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup> kg s <sup>-3</sup> =kg s <sup>-3</sup>
	カタール毎立方メートル	kat/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> mol

表5. SI接頭語

乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号
10 <sup>24</sup>	ヨタ	Y	10 <sup>-1</sup>	デシ	d
10 <sup>21</sup>	ゼタ	Z	10 <sup>-2</sup>	センチ	c
10 <sup>18</sup>	エクサ	E	10 <sup>-3</sup>	ミリ	m
10 <sup>15</sup>	ペタ	P	10 <sup>-6</sup>	マイクロ	μ
10 <sup>12</sup>	テラ	T	10 <sup>-9</sup>	ナノ	n
10 <sup>9</sup>	ギガ	G	10 <sup>-12</sup>	ピコ	p
10 <sup>6</sup>	メガ	M	10 <sup>-15</sup>	フェムト	f
10 <sup>3</sup>	キロ	k	10 <sup>-18</sup>	アト	a
10 <sup>2</sup>	ヘクト	h	10 <sup>-21</sup>	ゼプト	z
10 <sup>1</sup>	デカ	da	10 <sup>-24</sup>	ヨクト	y

表6. SIに属さないが、SIと併用される単位

名称	記号	SI単位による値
分	min	1 min=60s
時	h	1h=60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	'	1'=(1/60)°=(π/10800) rad
秒	"	1"=(1/60)′=(π/648000) rad
ヘクタール	ha	1ha=1hm <sup>2</sup> =10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup>
リットル	L, l	1L=1l=1dm <sup>3</sup> =10 <sup>3</sup> cm <sup>3</sup> =10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>
トン	t	1t=10 <sup>3</sup> kg

表7. SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI単位で表される数値
電子ボルト	eV	1eV=1.602 176 53(14)×10 <sup>-19</sup> J
ダルトン	Da	1Da=1.660 538 86(28)×10 <sup>-27</sup> kg
統一原子質量単位	u	1u=1 Da
天文単位	ua	1ua=1.495 978 706 91(6)×10 <sup>11</sup> m

表8. SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

名称	記号	SI単位で表される数値
バール	bar	1 bar=0.1MPa=100kPa=10 <sup>5</sup> Pa
水銀柱ミリメートル	mmHg	1mmHg=133.322Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1nm=100pm=10 <sup>-10</sup> m
海里	M	1 M=1852m
バイン	b	1 b=100fm <sup>2</sup> =(10 <sup>-12</sup> cm) <sup>2</sup> =10 <sup>-28</sup> m <sup>2</sup>
ノット	kn	1 kn=(1852/3600)m/s
ネーパ	Np	SI単位との数値的な関係は、対数量の定義に依存。
ベベル	B	
デジベル	dB	

表9. 固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI単位で表される数値
エルグ	erg	1 erg=10 <sup>-7</sup> J
ダイン	dyn	1 dyn=10 <sup>-5</sup> N
ポアズ	P	1 P=1 dyn s cm <sup>-2</sup> =0.1Pa s
ストークス	St	1 St=1cm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> =10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>
スチルブ	sb	1 sb=1cd cm <sup>-2</sup> =10 <sup>-4</sup> cd m <sup>-2</sup>
ファ	ph	1 ph=1cd sr cm <sup>-2</sup> 10 <sup>4</sup> lx
ガル	Gal	1 Gal=1cm s <sup>-2</sup> =10 <sup>-2</sup> ms <sup>-2</sup>
マクスウェル	Mx	1 Mx=1G cm <sup>2</sup> =10 <sup>-8</sup> Wb
ガウス	G	1 G=1Mx cm <sup>-2</sup> =10 <sup>-4</sup> T
エルステッド <sup>(c)</sup>	Oe	1 Oe ≐ (10 <sup>3</sup> /4π)A m <sup>-1</sup>

(c) 3元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「≐」は対応関係を示すものである。

表10. SIに属さないその他の単位の例

名称	記号	SI単位で表される数値
キュリー	Ci	1 Ci=3.7×10 <sup>10</sup> Bq
レントゲン	R	1 R = 2.58×10 <sup>-4</sup> C/kg
ラド	rad	1 rad=1cGy=10 <sup>-2</sup> Gy
レム	rem	1 rem=1 cSv=10 <sup>-2</sup> Sv
ガンマ	γ	1 γ=1 nT=10 <sup>-9</sup> T
フェルミ	f	1フェルミ=1 fm=10 <sup>-15</sup> m
メートル系カラット		1メートル系カラット = 200 mg = 2×10 <sup>-4</sup> kg
トル	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm = 101 325 Pa
カロリ	cal	1cal=4.1858J (「15°C」カロリ), 4.1868J (「IT」カロリ) 4.184J (「熱化学」カロリ)
マイクロン	μ	1 μ=1μm=10 <sup>-6</sup> m

