

# マイクロ遠心機の消費電力

Jan-Hendrik Bebermeier, Eppendorf SE, Germany

## エグゼクティブサマリー

従来、遠心機の特徴といえば静音性、速度、シンプルさなどが話題に上がりますが、今では消費電力、省エネ、使用リソースの削減といったサステナビリティも定番のトピックとなっています。今回は、エッペンドルフ遠心機の各種モデルについて、電力消費量に関するいくつかのシナリオをご紹介します。機器の電力消費量はラボの二酸化炭素排出量を算定するうえでも重要な要素です。



## はじめに

他の装置でもそうですが、遠心機を購入する際には候補となるモデルの性能を比較されることでしょう。小さな遠心機であっても10年以上の使用を想定した投資であり、長期的パフォーマンスは所有コスト全体に大きく影響するので、比較は当然のことです。ユーザーの皆様の関心には大きく3つの側面があります。信頼性、サンプルとユーザーの安全性、そしてエネルギー消費などのサステナビリティです。

サステナビリティ向上の鍵となる1つの要素は温室効果ガスの排出量削減です。遠心機のライフサイクルにおける二酸化炭素排出量を考えると、さまざまな側面が見えてきます。まず、詳しいラ

イフサイクル分析を行わなくても明白な排出源がいくつかあります。製造段階では、鉄鋼や銅といった原材料の生産には多くの資源とエネルギーが必要です。使用段階では、ラボでの電力消費があります。温室効果ガス排出をもたらす重大な要因の1つは、製品による長期的なエネルギー消費です。

そこで当社では、作動エネルギーを削減できる新たな製品特徴の開発に注力してきました。遠心機使用中の電力消費量を抑えると、電気代を節約できるだけでなく、ラボの Scope 2 排出量を削減することによって施設が購入するエネルギーコストを削減させることができます。

### 開発

新しい遠心機の技術性能は研究開発段階で最適化され、それからデータの妥当性が検証されます。開発段階では標準に基づく社内チェックを絶えず行っています。この膨大な試験は、当社の研究開発部門にある専用の(温度と湿度が管理された)環境チャンバーで実施され、プロトタイプのパフォーマンスの理解と最適化に役立てられます。密閉シール、チャンバーの断熱、冷却コイルの位置などの変更は、いずれも性能に影響します。試験装置の定義は正確な測定を行うための鍵であり、使用した装置の記録を残すうえでも、試験装置の定期チェックと認証を確実に行ううえでも重要です。

### 電力消費量の決定

エネルギーコストの上昇と環境問題への関心の高まりを受けて、ラボの省エネはますます重要になっています。はたして、遠心機の回転にはどのくらいのエネルギーが必要でしょうか？ 冷却系はどのように影響するのでしょうか？

遠心時の電力消費量には複数のパラメーターが関与します。

- > 環境温度
- > 機器周囲の換気能力
- > 遠心機のタイプ
- > ローターのタイプ
- > 速度
- > 遠心時間
- > ローターチャンバー内の温度
- > ローディング(配置と重量)
- > ベッセルのタイプ
- > サンプルの温度

したがって、ある遠心機についての一般的な電力消費量というものはありません。公表されている値は、少なくともロータータイプ、速度、温度、時間が定義されたものです。

### 標準化されておらず比較は困難

異なる遠心機のエネルギー消費を比較することは簡単ではありません。遠心機分野では国際的に標準化された試験条件が存在しないからです。自動車の燃料消費にはWLTP(乗用車等の国際調和排出ガス・燃費試験法)、洗濯機などの家電製品にはEUで用いられるカラーコード式のランク付けがありますが、遠心機(そして他の大多数のラボ用機器)の試験方法は定義されていません。超低温フリーザーなどのラボ用製品については、消費電力の基準としてENERGY STAR®を用いることが主流になっています。

消費財のバリデーションで知られるENERGY STARは米国環境保護局(US EPA)の試験プログラムです。ただ、ラボ関連で対象になっているのはコールドストレージ装置のみであり、さらに重要な点として基準電圧が115Vに限定されています。

### My Green Lab®

My Green Labの使命は、研究室のサステナビリティを継続的かつ永続的に向上させることです。2013年に設立されたこの非営利の国際機関は、最高水準の社会責任と環境責任がすべての研究プロジェクトに反映される世界を目指して、研究コミュニティに幅広く参加しリーダーシップを発揮しています。

そして、世界中の研究室のサステナビリティを変化・向上させることを目的に「科学者による科学者のための運営」を掲げて、よりグリーンなラボとラボ製品のための規格を開発しています。その主な取り組みの1つがACT®ラベルです。



図1:サステナビリティ・フットプリント検証用のACTラベル(Centrifuge 5427 Rより)

### ACTラベル

ACTラベルは、説明責任(A)・一貫性(C)・透明性(T)という3つの観点を用いて、製品の製造から、エネルギー消費、水の使用、包装、そして製品寿命後の廃棄まで、簡単かつ直観的なサステナビリティ評価を提供します。製品は、エネルギー消費を含むさまざまな「環境負荷係数」(EIF)に基づいて検証されスコア化されます。個々のデータのスコア化は独立組織であるSustainability Made Simple Collaborative(SMSC)が行い、それをMy Green Labが検証、公表して、最後に合計スコアが算出されます。基本的に、ACTラベルはサステナビリティに関するスコアカードです。

ACTラベルは食品の栄養表示や、欧州で家電製品につけられている性能カードのように読むことができます。サステナビリティに関する各カテゴリーについて、その製品の評価を数値とカラーコード(値に応じて赤から緑まで)で示しています。複数のエッペンドルフ遠心機がACTラベルを取得しています。

詳しくはWhite Paper 087をご覧ください。

### ローターのタイプ

マイクロ遠心機と多目的遠心機のローターで特によく使用されるのはアングルタイプとスイングバケットタイプです。ローターのタイプは重量と空気抵抗によって電力消費に影響を及ぼします。

### スイングバケットローター

このタイプのローターは十字部とバケットで構成されます。バケットは、遠心分離中は水平方向にスウィングし、停止時に垂直位置に戻ります。スイングバケット部の動きは空気抵抗を増大させます。小型のスイング型ローターは空気抵抗を減らすためのシールドを備えており、電力消費を抑えます。スイングバケットローターはサイズが大きいため、使えるのは比較的大きな遠心機に限られます。

### アングルローター

スイングバケット型と異なり、固定された角度(主流は20°～45°)で試料を遠心するローターです。可動パーツがなく金属部にかかるストレスが少ないため、最大gを大きく設定でき、エネルギー消費も比較的少なくなります。



図3: 遠心機用のアングルローター

### 試験手順

すでに述べたように遠心機の電力測定に関する標準は存在しません。そこでエッペンドルフでは遠心機のACTラベルを取得するにあたり、My Green Labと協力してラボ用遠心機の電力測定の試験手順を開発することにしました。こうして確立された試験手順により、ラボの典型的な使用パターンの電力消費データが得られます。現実的なデータを収集するために、さまざまな設定においてエネルギー消費に影響を及ぼす要因が考慮されています。データ収集の過程で得られた測定値をこのWhite Paperでご紹介します。



図2: 遠心機用のスイングバケットローター

## マイクロ遠心機：アングルローター

> 1.5mL マイクロチューブ用のアングルローター; 24本架

> 室温:  
20°C±2°C

> 試験1回目(予冷):

- > 4°Cに予冷(FastTemp)
- > 遠心(ローター+ローターカバー)
- > 消費エネルギーを測定(遠心機ドア閉→加速→減速→遠心機ドア開)

> 試料:

- > 水1.0mLを充填した1.5mL マイクロチューブ10本
- > サンプル温度:4°C(予冷あり)
- > 予冷後に遠心。チューブを2群に分け、ローター内に対称に配置

> 試験2回目(遠心):

- > 遠心機を4°Cに予冷
- > 遠心機の設定:20分間;20,000xg;4°C
- > 遠心(ローター+ローターカバー+サンプルチューブ)
- > 消費エネルギーを測定(遠心機ドア閉→加速→減速→遠心機ドア開)

> 試験3回目(遠心):

- > 遠心機を4°Cに予冷
- > 遠心機の設定:60分間;20,000xg;4°C
- > 遠心(ローター+ローターカバー+試料チューブ)
- > 消費エネルギーを測定(遠心機ドア閉→加速→減速→遠心機ドア開)

> 次の予冷ランを行う前に、遠心機とローターを3時間以上静置して室温に戻した

これらの試験条件を My Green Lab が検証し、公平性と透明性が確保されたセットアップであることが確認された。試験は同一装置で複数回の遠心を行い、さらに、可能な限り同タイプの複数装置でも行った。

## 結果

以下に示すデータは同一タイプの単一または複数の装置について記録されたものです。値のばらつきをチェックするため少なくとも2回の測定が行われました。ACTラベル用の試験手順では20,000xg[rcf]のみを用いますが、このWhite Paperではそれ以外の条件によるデータも紹介します。

小型で高速のマイクロ遠心機は、より大型の多目的遠心機とは使用パターンが異なります。マイクロ遠心機は、ローターが小さく軽量であることと回転速度が速いことから、より大量の試料を扱う大型の遠心機と比べて電力消費が小さくなります。そして、装置のサイズ、試料の容量、使用パターンに合わせて駆動部も冷却系も最適化されているので、電力消費量はマイクロ遠心機のサイズによって異なります。

図4に、冷却なしで各gにて20分間遠心した時の電力消費量を示します。5,000~20,000xgの値が概ね線形であることから、これ以外のrcfについても電力消費量を推定できます。この推定は冷却なしの装置については現実的ですが、冷却式遠心機でコンプレッサーによる冷却を行った場合は推定にも影響が及びます。

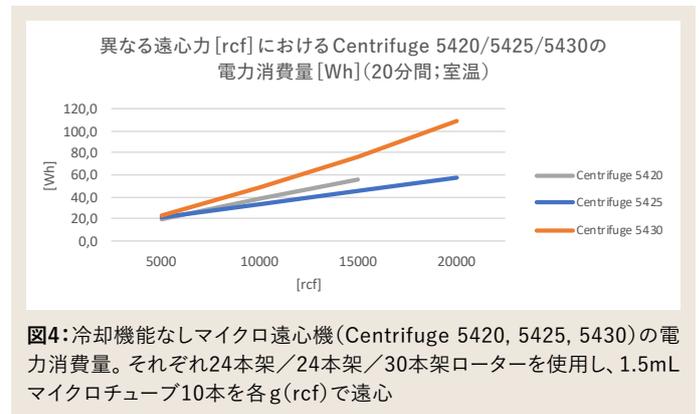


図4: 冷却機能なしマイクロ遠心機(Centrifuge 5420, 5425, 5430)の電力消費量。それぞれ24本架/24本架/30本架ローターを使用し、1.5mL マイクロチューブ10本を各g(rcf)で遠心

Centrifuge 5420は低速度の用途向けに最適化されており、速度が大きくなると汎用型のCentrifuge 5425より電力を消費します。Centrifuge 5430は(ローターのタイプによりますが)最大30,000xgまでの高速度に対応できる強力な駆動部を備えています。そのため、他のローターや他の速度を用いる場合も電力消費量が大きくなります。

### 冷却

分子生物学分野の用途では4°Cが標準的な温度になっています。この低温を実現するにはローターとサンプル冷却用の強力かつ効率的なコンプレッサーが必要です。エッペンドルフの冷却付き遠心機は、短時間で効率的に予冷を行えるFastTemp機能を備えています。事前プログラム設定を使用すると、指定した時刻にローターチャンバーとローターを速やかに予冷でき、エネルギーも節約できます。

	Centrifuge 5425 R の予冷 [Wh]	Centrifuge 5427 R の予冷 [Wh]	Centrifuge 5430 R の予冷 [Wh]
平均値	30	65	72

表1: 冷却機能付きマイクロ遠心機の予冷中の電力消費量。1.5mLマイクロチューブ10本を24本架 (Centrifuge 5430 Rでは30本架) ローターで遠心、FastTempで予冷

遠心中も、ローターから生じる摩擦熱に対応するためにコンプレッサーは稼働を続け、この冷却が遠心中の電力消費量を増大させます。図5に、2つのマイクロ遠心機Centrifuge 5425および5425 Rの電力消費量データの比較を示します。

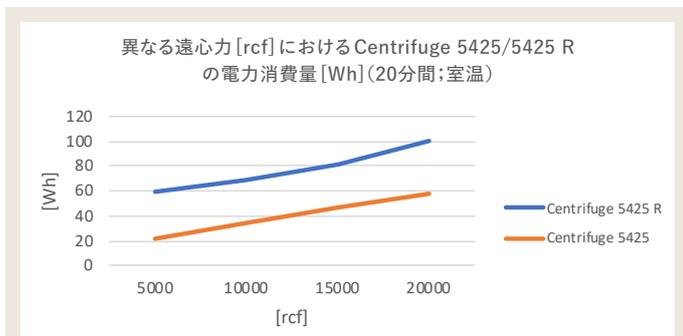


図5: 冷却機能なし遠心機Centrifuge 5425と冷却機能付きモデルCentrifuge 5425 Rとの電力消費量の比較。24本架ローターを使用し、水1mLを充填した1.5mLマイクロチューブ10本を各g(rcf)で遠心

サイズが異なるマイクロ遠心機を比較する時は、どのような使用プロフィールが選択されたかによって電力消費量が異なることに留意してください。容量が大きく使用時間が長い遠心機にはより強力なコンプレッサーが搭載されています。たとえば、多数のサンプルを高速で長時間遠心するのが典型的な使い方であるCentrifuge 5427 Rには、主として少数のサンプルを短時間遠心するために使われるCentrifuge 5425 Rより、強力な冷却系が搭載されています。

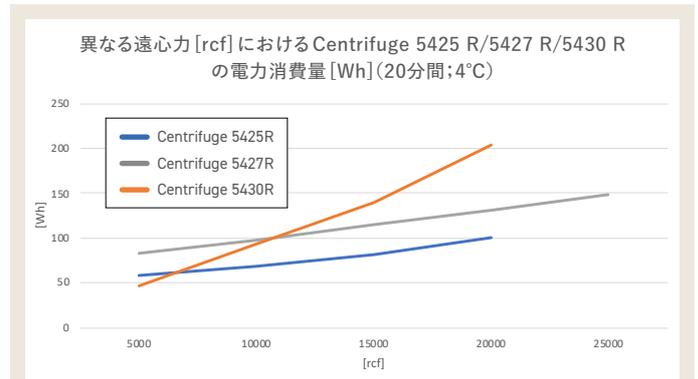


図6: 冷却機能付きマイクロ遠心機 (Centrifuge 5425 R, 5427 R, 5430 R) の電力消費量。それぞれ24本架/24本架/30本架ローターを使用し、水1mLを充填した1.5mLマイクロチューブ10本を各(rcf)で温度4°Cにて遠心

図6に、異なるクラスのマイクロ遠心機について、冷却ありで各gにて20分間遠心した時の電力消費量を示します。5,000~20,000xgの値は冷却なしの遠心機ほど線形ではありません。遠心速度が速くなると冷却に対する影響が大きくなり、より多くの電力を消費します。

### エネルギーの節約

これらのデータは遠心機の電力消費量を表しています。削減の方法を検討するためにエッペンドルフ遠心機の研究開発チームと話し合いました。

効率の良い新型のコンプレッサーと、強力ながらスムーズに作動する駆動部は、電力消費を抑えます。その対処は研究開発の段階で行われます。遠心機の省エネに主な制約をもたらすのは物理法則です。試料、ベッセル、バケット、ローターの重量を加速するために必要なエネルギーは物理法則で決まるからです。加えて、摩擦により熱が生まれるため、最適な作動条件を維持するにはそれに応じた冷却が必要です。冷却のためのエネルギー消費はコンプレッサーの能力に左右されます。そのため、遠心機の設定を調整して電力消費量を抑えるには限界があり、必ずしも省エネにつながるわけではありません。

### 速度の低減と遠心時間の延長

ローター速度の単位としてrpm(1分間あたり回転数)はあまり正確ではありません。試料が受けるrcf(重力加速度との比で表される相対遠心力)は回転速度とローター半径の両方に依存するからです。rcfを低くしてもサンプルを同じように沈殿できますが、遠心時間を長くする必要があります。

遠心機を速度を下げた時にどれだけの時間延長が必要かは以下の式で計算できます。

$$Time_{adjusted} = Time_{protocol} \times (rcf_{protocol} / rcf_{adjusted})$$

調整後の時間 = プロトコルの時間 × [プロトコルのrcf / 調整後のrcf]

同じ分離効率を得るために、たとえばCentrifuge 5427 Rの速度を下げて遠心時間を長くすることも可能で、DNA沈殿の標準プロトコル(20,000xg; 20分間)の速度を下げる(10,000xg; 40分間)こともできます。

#### 省エネのための心がけ

- > 少量のサンプルの処理には大型の装置よりマイクロ遠心機を選ぶ
- > 使用できる最小のローターを選ぶことで重量を減らし、エネルギー消費を削減する
- > 迅速で効率的な冷却のために予冷 / FastTemp 機能を活用する
- > -4°Cに予冷する場合は遠心機のドアを閉じたままにする
- > 空のチューブや意味のないバランス用チューブを取り出す(必要なバランス用チューブは残す)

#### まとめ

資源の節約はもちろん必要ですが、サンプルの完全性を保つことはどのような研究においても最も重要なポイントです。遠心機では、冷却用コンプレッサーが弱いとエネルギー消費は少なくなりますが、サンプルや実験をリスクにさらすこととなります。サイエンスコミュニティは遠心機の電力消費レベルを認識する必要があります。特に研究機関や企業は、自身の組織の二酸化炭素排出量を算定するために、保有する装置の電力消費量を把握する必要があります。遠心機は物理法則による制約から節電のための選択肢が限られるので、電力の消費量削減より供給源の検討に焦点をシフトするべきでしょう。

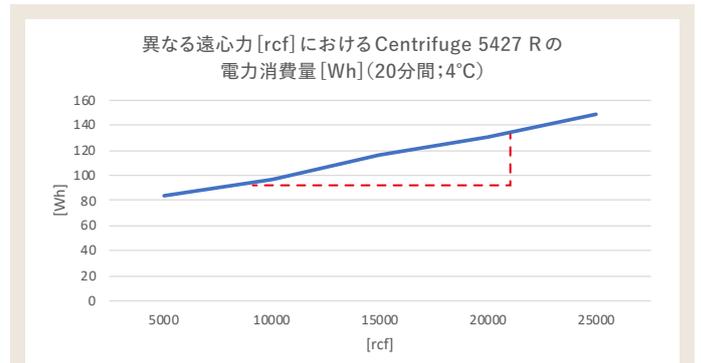


図7: Centrifuge 5427 Rの電力消費量。24本架ローターを使用し、水1mLを充填した1.5mLマイクロチューブ10本を各(rcf)で遠心。赤い点線は、速度を20,000xgから10,000xgに下げ、遠心時間を20分間から40分間にした場合を示す

図7は、速度を20,000xgから10,000xgに変更して遠心時間を倍にすると、電力消費量は元々の約130Whに対して約90Whになることを示しています。その主な要因はコンプレッサーの作動時間が長くなることです。速度を半分にすると遠心時間を倍にする設定で実際の節電につながる可能性もありますが、そうした設定は効率をきちんと試験すべきです。

#### ランプ時間の短縮

加減速のランプ時間を短くすると装置の電力消費量を削減できる場合があります。とはいえ、この削減は、遠心機(遠心+冷却)の総エネルギー消費と比較してかなり限定的です(データは示していません)。

ご自身のラボの電源はどこから来ているのでしょうか? 再生可能エネルギーの比率を増やせば、ご使用の遠心機の電力消費による環境負荷は小さくなります。

エッペンドルフでは数年前から、ドイツと米国の工場から出荷される従来型マイクロ遠心機とベンチトップ遠心機の組み立てを100%再生可能電力でまかっています。また2019年から、すべての主要工場と本社の外部電源を従来の契約から100%再生可能電力に切り替えました。こうした変更によって、当社の世界全体の二酸化炭素排出量は2019年から2022年までに58%低減しました。

## エッペンドルフについて

エッペンドルフは生命科学分野のリーディングカンパニーとして、リキッドハンドリング、サンプルハンドリング、セルハンドリング用の機器、消耗品、各種サービスを開発・販売しています。ピペットや自動分注システム、ディスペンサーから、遠心機、ミキサー、DNA増幅装置、超低温フリーザー、ファーマンター、バイオリアクター、CO<sub>2</sub>インキュベーター、シェーカーまで、幅広い製品ラインアップで世界中の研究を支えています。ピペットチップ、チューブ、マイクロプレート、シングルユースバイオリアクターなど、各種機器に対応した消耗品も豊富にそろえており、最高水準のワークフローソリューションを実現します。

エッペンドルフはドイツ・ハンブルクで1945年に創立されました。

**Your local distributor: [www.eppendorf.com/contact](http://www.eppendorf.com/contact)**

Eppendorf SE · Barkhausenweg 1 · 22339 Hamburg · Germany

[eppendorf@eppendorf.com](mailto:eppendorf@eppendorf.com) · [www.eppendorf.com](http://www.eppendorf.com)

**[www.eppendorf.com](http://www.eppendorf.com)**

My Green Lab® は My Green Lab (米国) の登録商標です。  
Eppendorf®, Eppendorf Brand Design®, Eppendorf Research®, Eppendorf Reference®, Eppendorf Xplorer®, Multipette®, Repeater®, CryoCube®, Eppendorf ThermoMixer®, CellXpert® は Eppendorf SE (ドイツ) の登録商標です。  
Eppendorf SE はその製品およびサービスを随時変更する権利を保有します。本 White Paper は予告なく変更される場合があります。情報の正確性には万全を期しておりますが、Eppendorf SE は本内容に含まれる誤りに対して、また本内容の適用もしくは使用により生じた損害に対して、責任を負いません。したがって、本 White Paper のみを参照したことをもって、最新の操作マニュアルを参照したことの代替にはなりません。  
無断転載は図表を含めこれを禁じます。Copyright © 2025 by Eppendorf SE, Germany. EN2/0425.