

Heating and Cooling of Incubator Chambers

Laird Thermal Systems Application Note
May 8, 2019

はじめに

病院や実験室で細胞や組織の培養に使用されるインキュベーター（培養器）は、数時間、数週間、さらには数ヶ月間にわたり、制御された条件下で細胞や組織を増殖させ維持します。それらは温度、湿度、二酸化炭素や酸素の最適なレベルを維持することによって、細胞や組織の成長のための理想的な環境を作ります。これらの要因を精密に制御することで、細胞培養が不可欠な、動物学、微生物学、製薬研究、食品科学、化粧品などの産業における研究や実験作業が可能になります。

精密かつ正確な温度管理は細胞増殖にとって特に重要です。哺乳類の37℃の最適温度の場合、上下の変動がわずか6℃もあれば、細胞の健全さに悪影響があります。低温すぎると成長が遅くなります。高温すぎると敏感なタンパク質が変性し始めます。

コンプレッサ式の熱管理の代わりに、小型ペルチェ熱電アセンブリ（TEAs）を使用して、より効率的で費用対効果の高いオプションを提供します。さらに、コンプレッサ方式に使われる従来の冷媒に対し各国が新しい規制を加えており、ペルチェ式熱電装置はインキュベーター内の温度安定化のためのより有効な解決策となりました。

インキュベーターの要件

適切な細胞培養が行われるためには、インキュベーター内の、温度、湿度、二酸化炭素と酸素の濃度の制御が正しく維持される必要があります。

熱負荷要件は、チャンバサイズに依り、30から400W 以上となります。

C02 インキュベーターは、相対湿度は

95～98%で、指定 C02 濃度は 0.3～19.9%の範囲で維持する必要があります。



設計時の課題

インキュベーターの製造者は、スペースの制約、空気の流れ、湿気、埃、清掃の容易さに至るまで、多くの熱管理設計の課題に直面しています。

第一に、インキュベーター内のスペースが限られているため、チャンバーの容積を最大にするためには、熱制御装置にはコンパクトなフォームファクタが必要です。この熱問題のソリューションには、限られたスペース内で動作する効率的で効果的な熱交換器とファンが必須です。この限られた容積内で加熱および冷却を達成するためには、高い熱流束密度を有するユニットが必要です。

2つ目の課題は、チャンバー全体の気流の安定した制御を行うことです。インキュベーターは、穏やかにそして均一にサンプルの周囲に空気を送るためのバッフル付きのファンかブロワーを備えています。

ただし、水蒸気や湿気による浸食でファンなどの機械部品の性能が急速に低下することがあるので、ファンなどの部品は水蒸気や湿気から保護する必要があります。ガスケットシール、ポッティング、あるいはさらに高度なシールオプションなどの機能で結露の侵入を遮断できます。

運用上の観点からは、チリやホコリが問題になる可能性があります。インキュベーターの使用環境と空気の質によっては、ファンとヒートシンクアセンブリにチリやホコリがたまり、熱抵抗が増加して性能が低下することがあります。良好な熱的性能と、インキュベーター寿命を長く維持するために、吸気口の前に障害物がないように設置し、すべての流入空気はフィルタを通してください。このインキュベーターは、掃除が簡単で殺菌しやすい内部の機構や棚を使用することで、バイオハザードの安全プロトコルにも適合します。

従来のソリューションの課題

従来形の CO2 インキュベーターでは、通常、エアジャケットまたはウォータージャケットで均一な温度を維持します。水ははるかに比熱が高いので、水温は非常にゆっくり変化します。それにより実験用インキュベーター内の温度を調節します。ウォータージャケットはインキュベーターを囲む水で満たされたケーシングで、チャンバー壁と外部にある加熱/冷却デバイスの間を水が循環するようになっています。その水は、チャンバーの内側と伝導によって熱を交換し、内部の温度を均一に保ち、かつ、外側の空気との熱的なバッファを提供します。ウォータージャケットの課題としては下側から漏水の可能性が挙げられます。またかなりの量の水が入っているので、非常に重く、通常は、移動させる際には一度空にしておく必要があります。移動させた後の水の補充と再起動のプロセスは、安定した動作温度に戻るまでに24時間はかかります。これは、かなりの時間のロスとなります。

エアジャケットを使用するケーシングを使うときは、ジャケットの中の空気を加熱し、その空気によって培養細胞に熱を直接に輻射します。一部のエアジャケット付きモデルは自然対流により室内の熱を均等に分配しますが、ファンを装備しているモデルもあります。しかしながら、強制対流は、湿度トレイを使用しているときでさえ、培養物からの蒸発を増加させ、小さなサンプルを乾燥させてしまいます。さらに、コンプレッサ式のエアジャケットは、大きなスペースを占め、環境に望ましくない振動や騒音を伝えます。

近年ヨーロッパにおいて特定の冷媒の使用を禁止する法令が出てきており、インキュベーター製造者はコンプレッサ式システムに代わるものとして固体熱電温度制御システムに注目しています。古いコンプレッサ式のシステムは、R 1 3 4 a および R 4 0 4 A を含む地球温暖化係数の高い H F C 冷媒を利用しています。現代のコンプレッサ式のシステムは、さまざまな冷媒を使用しています。R 7 4 4 (二酸化炭素)、R 7 1 7 (アンモニア)、R 2 9 0 (プロパン)、R 6 0 0 a (イソブテン)、R 1 2 7 0 (プロピレン) などです。しかしながら、これらの冷媒は、圧力の増加、高い毒性、引火性、窒息性、比較的低い性能などの設計上の課題があります。可燃性のある冷媒は輸送上の危険があります。

ペルチェによる加熱・冷却

環境に優しいペルチェ温度制御システムは、チャンバー内の精密で正確な加熱と冷却を可能にし、サンプルを温度変化から安全に保ちます。熱電モジュールの製造者は、熱電冷却器のための2つの仕様、 ΔT_{Max} および Q_{cMax} を定義しています。

ΔT_{Max} は、熱流がない場合の最大温度差です ($Q_c=0$)。

Q_{cMax} は、温度差が存在しない ($\Delta T=0$) 場合の最大熱流です。

ほとんどの一段モジュールでは、 ΔT_{Max} は70°C近くで停止(飽和)します。ただし、この温度差の多くはヒートシンクの熱抵抗によって失われる可能性があります。より大きな冷却能力が必要とされる場合、より多くの熱電モジュールが必要です。これは、TEMを直列または並列に配線することによって実行できます。

実際の熱電モジュールと熱電アセンブリの操作は、温度安定化のために、 ΔT と Q_c を適正に勘案して行います。

閉ループ温度コントローラと熱電アセンブリを組み合わせることで、応答性が高く、精密で正確な熱管理システムが実現します。熱電アセンブリを制御するように特に設計された温度コントローラは、温度センサからフィードバックして、電源の出力を変え、エンクロージャ



の温度制御を行います。温度コントローラは、省エネを実現し、安全上の警告を発するためさまざまな制御オプションに対応できます。I/O接点は、ファン、熱電モジュール、アラーム/ステータスLED、サーミスタ、ファンの回転計センサ、および過熱サーモスタットに使用できます。

インキュベーター用の「Laird サーマルソリューション」

Laird Thermal Systems は、この用途に最適化された幅広い熱電アセンブリと温度コントローラを製造しています。SR-54またはPR-59温度コントローラを装備した SuperCool サーモエレクトリックアッセンブリーシリーズは、従来の技術に依るものより設計上の重要な利点を提供します。

SuperCool シリーズは、放熱性を改善するためのヒートパイプとファンシュラウドアセンブリを組み込んだ高性能ヒートシンク設計を特徴としています。これにより、熱電アセンブリはより高い性能係数（COP）で動作することができ、競合する技術と比較して電力消費を低減します。この機能はすべてコンパクトなフォームファクタにまとめられています。

スーパークールシリーズは、標準熱電アセンブリによる3種の異なる熱伝達メカニズムがあります。気液システム（Liquid-to-Air）、空気直接接触システム（Direct-to-Air）、気-気システム（Air-to-Air）、です。

これらのアセンブリは、公称動作電圧24VDC で $\Delta T=0^{\circ}\text{C}$ で測定したとき、それぞれ 166、193、および202ワットの冷却容量です。これらの熱電アッセンブリはネジと取り付け金具で垂直の壁面に容易に取付可能です。



スーパークールシリーズ：

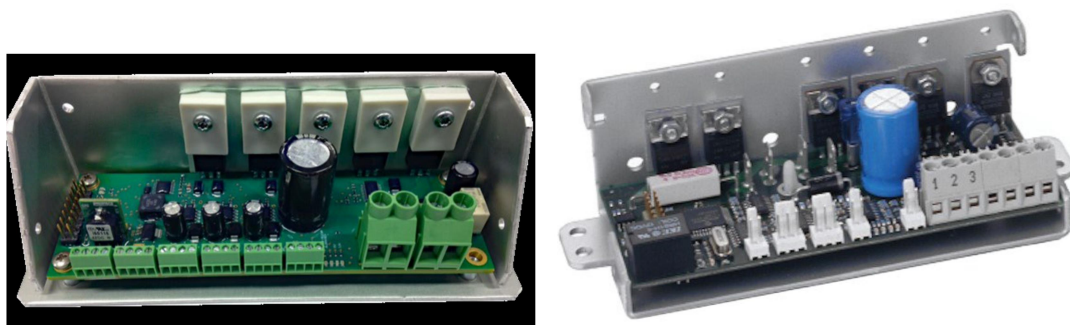
[SAA-170-24-22](#)、[SDA-195-24-02](#)、[SLA-205-24-02](#)

温度制御の場合、SR-54プログラマブルマイクロコントローラは、加熱モードと冷却モードの両方で設定温度 $\pm 0.13^{\circ}\text{C}$ 以内の熱安定性を提供します。SR-54により、インキュベーターはオーバーシュートすることなく設定温度に素早く到達することが可能になります。その監視能力は潜在的な問題を追跡し、インキュベーターの稼働時間を最大化します。潜在的な問題とは、問題のあるファン、熱電モジュール、迅速

な故障解決のためのサーモスタットなどです。

可変速度ファンは、初期の温度上昇の時だけ高速となり、インキュベーターの温度が定常状態に達したあとは低速になるので、運転騒音を低下させます。

もう一つの選択はPR-59 温度調節器（電力調整付き）です。PID（比例積分微分）、サーモスタットの ON /OFF、電源、機器の保護とパフォーマンスの最適化について、ユーザーが選択し設定することが可能です。プログラマブルマイクロコントローラ PR-59 は、加熱モードと冷却モードの両方で、設定値の $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$ 以内の制御安定性があります。付属のソフトウェアを使って PC に接続することにより、温度設定値や他のパラメータを選択できます。



SR-54およびPR-59温度コントローラ

Laird Thermal Systems は、お客様のご要望に応じて熱電アセンブリの構造や熱特性をカスタマイズ致します。通常、お客様は標準品の熱電アセンブリを評価用にご使用頂いております。そして、障害物を回避するために、ヒートシンク、取り付け位置、および通気路を変更することで、フォームファクタを調整して頂きます。TEM キャビティ周囲のバリア保護により、熱電アセンブリの動作へ影響する結露を防止します。Laird Thermal Systems は、お望みの熱管理効果の最適化により、パフォーマンスまたは効率を向上させる設計変更法を確立しております。

Laird Thermal Systems は長年の経験によって類似のアプリケーションのためのリファレンス設計を含む大規模なライブラリを有しており、新しいカスタム設計に迅速に対応可能です。

結論

インキュベーターの温度制御に従来技術ではなく熱電アセンブリを使用することで、CO2インキュベーターの熱管理に対する、効率性、熱的安定性、コンパクト性、信頼性、低メンテナンス性、低所有コストなどのソリューションを実現可能です。

Laird Thermal Systems は、製品開発ライフサイクル全体にわたってお客様と提携して、リスクを軽減し、製品化までの時間を短縮します。お客様のニーズに応じて、さまざまなレベルのカスタマイズを垂直統合して提供致します。

Laird Thermal Systems の熱電アセンブリを購入して独自のカスタムソリューションを構築するお客様や、独自のソリューションを設計し、それらを構築するための受託製造業者として Laird Thermal Systems をお使いになるお客様もいらっしゃいます。また、設計から製造までのソリューション全体の委託を好まれるお客様もいらっしゃいます。

Laird Thermal Systems について

Laird Thermal Systems は、世界の医療、産業、運輸および電気通信市場で求められている用途に向けて熱管理ソリューションを開発しています。当社はアクティブ熱電部品やアセンブリから温度コントローラや液体冷却システムまで、業界で最も多様な品ぞろえをしています。当社のエンジニアは、高度な熱モデリングおよび管理技術を駆使して、複雑な熱と温度の制御の問題を解決します。幅広い設計、試作、社内テストなどの機能を提供し、製品開発ライフサイクル全体にわたってお客様と提携し、リスクを低減し、製品化までの時間を短縮します。

当社のグローバルな製造とサポートの体制は、生産性、稼働時間、パフォーマンス、製品品質などの最適化に役立ちます。

Laird Thermal Systems は、標準またはカスタムの熱問題のソリューションに最適な選択です。詳しくは www.lairdthermal.com をご覧ください。