

日本酒用温調装置の開発

Production of a Peltier-type Japanese sake cooler/heater

材料技術部 金属・物性科 橋本政靖 丸田淳央
会津若松技術支援センター 酿造・食品科 菊地伸広
会津若松技術支援センター 産業工芸科 原朋弥

本検討では福島県で生産が活発な日本酒の更なる消費拡大を目的に、フレキシブルサーモモジュールと県の有する加飾技術を活用した日本酒用温調装置の開発を行った。コンセプトとしては日本酒を四合瓶のまま入れられ、好みの温度に温度調整が可能、食卓上におけるデザイン性に優れていることとした。まず使用するモジュールの素子はんだ付け条件を最適化し不濡れがなくボイドの極めて少ないリフロー条件を決定し、このモジュール評価用に吸熱特性及び発電特性の測定装置を試作した。また、本フレキシブルサーモモジュールに適合するフレキシブルヒートシンクを開発した。装置の基本構造及びコンセプトに基づき塗装工程を検討し加飾を行ない、試作品を作製し四合瓶内の温度を測定した結果、目標の温度となることを確認した。

Key words: サーモモジュール、熱電素子、ペルチエ、日本酒

1. 緒言

サーモモジュールは電位差を与えることでペルチエ効果により温度差を生じることで冷却・加熱や精密な温度調整が可能である。反対に温度差を加えることによりゼーベック効果で発電を行うことが可能な素子である。サーモモジュールにおけるペルチエ効果及びゼーベック効果の模式図を図1に示す。一般的に素子はセラミック板で挟まれた数十[mm]角の板状構造であり、平面での温度制御等に用いられている。(株)朝日ラバーではセラミック板ではなくシリコーンゴム板で挟み込むことでフレキシブルサーモモジュール「F-TEM」を開発している。これにより、平面のみならずパイプなどの局面にも使用することが可能となっている。フレキシブルサーモモジュール「F-TEM」外観を図2に示す。

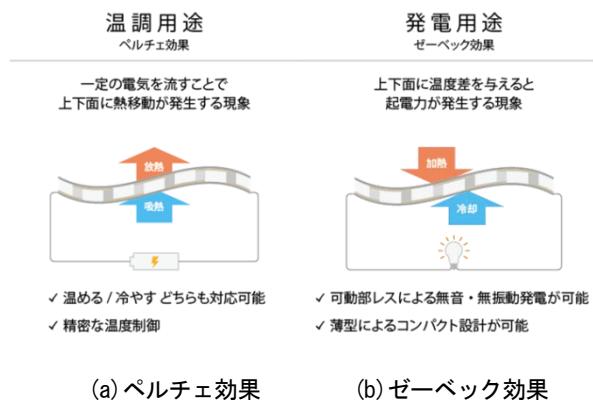


図1 サーモモジュールにおけるペルチエ効果及びゼーベック効果の模式図

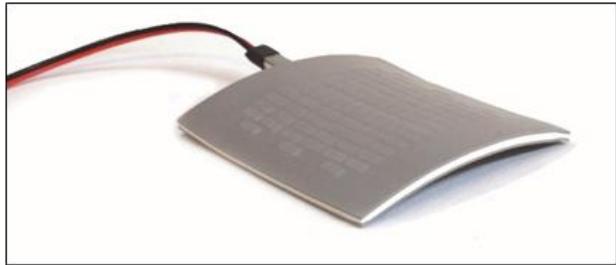


図2 フレキシブルサーモモジュール「F-TEM」外観

本検討ではこのフレキシブルサーモモジュールを用いて、福島県特産の日本酒と加飾技術を融合させた日本酒用温調装置の開発を行った。コンセプトとしては日本酒を四合瓶のまま入れられ、好みの温度に温度調整が可能であり、食卓上におけるデザイン性に優れていることとした。また、用いるサーモモジュールの評価装置、素子はんだ付けの最適化及び放熱用ヒートシンクについても検討を行った。

2. 実験

2. 1. 全体構成及び温度範囲

一般的な四合瓶の大きさは高さ約300[mm]×直径約80[mm]、容量は720[mL]である。装置の構造は四合瓶が入る内筒にフレキシブルサーモモジュールを張り付けて温調を行う。このサーモモジュールにヒートシンク及び送風ファンを取り付け、これらを加飾した外装で覆う形とした。

日本酒に最適な温度は酒質や好みにより異なるが一般的には図3に示す通り雪冷えや上燗など温度ごとの呼び名があり5~50[°C]の範囲と言われている。その

ため、温度は 5~50[°C]の好みの温度に調整できる構造とした。

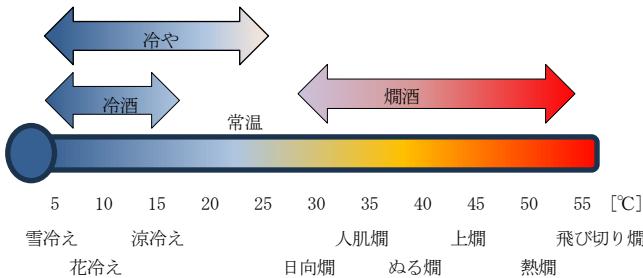


図3 日本酒の温度ごとの呼び名

2. 2. 素子はんだ付けの検討

一般的なサーモモジュールは両側のアルミナ板に電極が張り付けられており、p型及びn型の素子をπ型対として、多数直列に接続することでモジュール化している。この際に熱及び電気伝導を損失なく行うためには、素子と電極の接続であるはんだ付けの良否が非常に重要となる。素子ははんだと素子の拡散反応防止及びはんだ付性向上のために二層のメッキが施されている。リフロー装置にてはんだ付けする際の温度や時間などの条件及び評価手法を検討した。はんだ部の評価はX線CT装置による非破壊観察、断面研磨による断面観察を行った。非破壊による断面評価はX線CT（東芝ITコントロールシステム製TOSCANER-31302μC3型）を用いてMPR観察を行った。断面観察は樹脂包埋、鏡面研磨後にイオンミリング処理（日立ハイテク製IM-4000型）を行い、観察は倒立型金属顕微鏡（エビデント製GX-53型）及び電界放出型走査型電子顕微鏡（日立ハイテク製SU-5000型）を行った。

2. 3. モジュールの評価

サーモモジュールは温調素子として使用する場合には吸熱（冷却）特性、発電素子として使用する場合には発電性能が重要となる。特に本サーモモジュールは、素子対数や配列を自由にカスタマイズを行うことが可能であり、様々な素子対数や配列における特性評価が求められる。しかし、モジュールの評価は市販装置が少ないこと、熱平衡を十分にとること、温度測定を正確に行うことなど様々なノウハウが必要となる。そこで、吸熱特性測定装置及び発電特性測定装置を自作して検討を行った。なお、発電特性は本装置には直接は関係ないが測定装置構造や本サーモモジュールの別用途への可能性を検討する際に必要とするために試作した。

2. 4. ヒートシンクの検討

サーモモジュールで冷却・加熱や発電を行う場合に

は、冷却・加熱側の反対面に放熱フィン等を取付けて放熱または吸熱を行う必要がある。一般的なサーモモジュールは平面であるために既存の放熱フィンが使用可能であるが、本フレキシブルサーモモジュールは自由曲面となるために一般的な平面用のヒートシンクを使用することができない。そのため、自由曲面に使用可能なヒートシンクの検討を行った。

2. 5. 外装加飾の検討

ゆっくりと日本酒を楽しむ状況として、食卓上におけるデザイン性に優れていることとした。そのため、外装の加飾コンセプトは高級感（深み感）、デザインイメージは「水」、「うつろう」、「たゆたう」を主眼として行った。

3. 結果と考察

3. 1. 全体構成及び温度範囲

四合瓶を入れる内筒は熱伝導性に優れて加工しやすいアルミニウム製パイプ（内径約85[mm]、肉厚約3[mm]）とし、このアルミニウム製パイプの外面にフレキシブルサーモモジュールを張り付けて温調を行う。このサーモモジュールにヒートシンク及び送風ファンを取り付け、これらを外装で覆う形とした。

日本酒に最適な温度は酒質や好みにより異なるが、一般的には雪冷えや上燗など 5~50[°C]の範囲と言われている。そのため、温度は 5~50[°C]の好みの温度に調整できる構造とした。

3. 2. 素子はんだ付け条件の検討

一般的にリフローではんだ実装を行う際の条件としてはプレヒート温度、最大温度及びそれぞれの保持時間などが関係しており、特にサーモモジュールにおいては電子基板などと異なり一般的なリフロー推奨条件は存在しない。これは、電子基板が表面に部品をはんだ実装するのに対してサーモモジュールは挟まれた内部ではんだ実装するために熱容量や熱伝達の点が異なるためである。まず、一般的な電子基板におけるリフロー条件ではんだ実装を行い非破壊観察を行った。X線CTによるはんだ部の観察結果を図4 (a)、光学顕微鏡観察結果を図5 (a) に示す。これより一般的なリフロー条件では、はんだ内部に多くのボイドや濡れ不良が確認された。これは、リフロー時のプレヒートが適正でないためにフラックスの作用、はんだの溶融が適正ではなくボイド残留や濡れ不良となったものと思慮される。そのため、リフロー条件であるプレヒート温度及び時間を調整するとともに、モジュールを保持しているプレート治具をより熱伝導性の良い材料を用いてリフロー条件とはんだ状態の検討を行った。リフロー条件を調整して良好な状態のX線CT像を図4 (b)、光

学顕微鏡観察結果を図5 (b)、走査型電子顕微鏡の組成像観察結果を図6に示す。X線CTによるMPR像ではボイドが極めて少ない状況であり、この断面の光学顕微鏡観察では均一に濡れていることが確認された。また、走査型電子顕微鏡による組成像観察でははんだ接合部に均一な金属間加工物層が形成されている。これらのはんだ付け条件の検討により濡れ性が改善し、ほぼ全面での接合が行われており、良好なはんだ付けを行う条件が決定した。

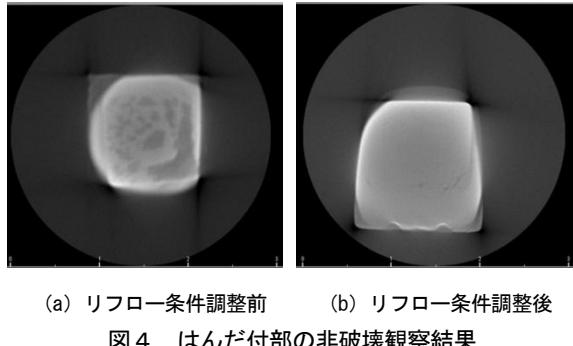


図4 はんだ付部の非破壊観察結果

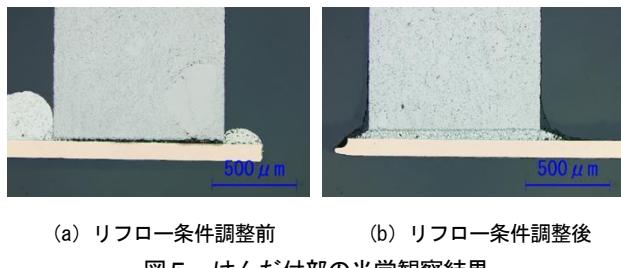


図5 はんだ付部の光学観察結果

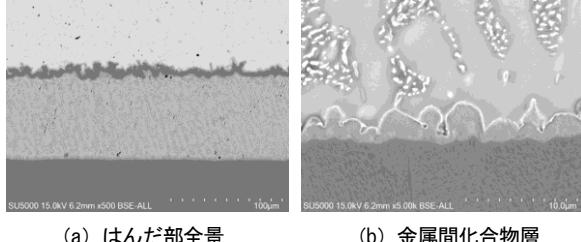


図6 はんだ付け部の組成像観察結果

3. 3. モジュールの評価

吸熱特性及び発電特性を測定・評価するためにサーモモジュールの評価装置を試作した。

吸熱特性の評価は放熱側温度を一定とさせて電流を流し、その際の電流と吸熱量を測定する必要がある。図7に示すように、放熱側をチラー（温調プレート）とし、放熱側温度測定用均熱プレート、サーモモジュール、吸熱側温度測定用均熱プレート、熱流測定ブロック、加熱用ヒーターを組み合わせ測定装置とした。測定は放熱側均熱プレートを27[°C]または50[°C]一定とし、加熱用ヒーター及びサーモモジュールへの電

流を調整し熱平衡となった時点を測定値とした。この際の加熱用ヒーター出力及びサーモモジュールへの電流を変化させ、熱流測定ブロック熱流量を測定し吸熱特性とした。

発電特性の測定は図8に示すように低温側をチラーとし、低温側温度測定用の均熱プレート、サーモモジュール、高温側温度測定用均熱プレート、加熱用ヒーターを組み合わせ測定装置とした。測定は低温側均熱プレートを20[°C]一定とし、加熱用ヒーターで加熱しサーモモジュール出力にサーモモジュール内部抵抗と同じ抵抗を接続し、熱平衡となった時点での高温側、低温側温度及び起電力を測定し発電特性とした。

図9に試作した測定装置による吸熱特性及び発電特性の測定結果例を示す。これにより、様々な素子組み合わせによるモジュールの評価が可能となった。

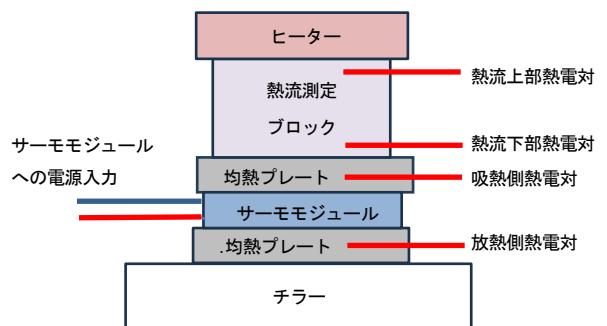


図7 冷却特性測定装置構造図

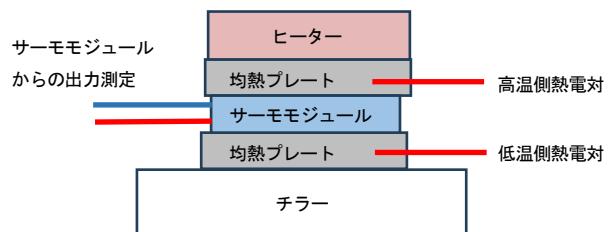
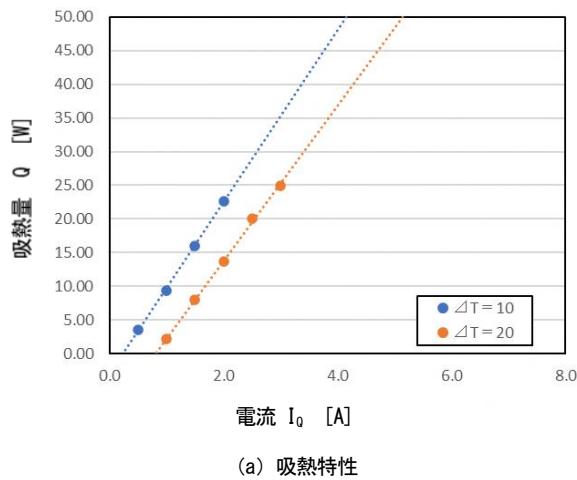
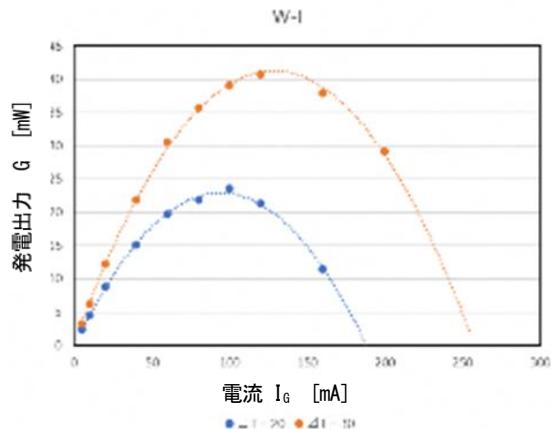


図8 発電特性測定装置構造図

Qc



(a) 吸熱特性



(b) 発電特性

図9 热電特性測定結果例

3. 4. ヒートシンクの検討

フレキシブルサーモモジュールは自由曲面にフィットする構造のため、その放熱側にも同曲率でフィットするヒートシンクが求められる。モジュールの効率を十分に発揮させるためには組立時に自由曲面に全面がフィットするようなヒートシンク構造が必要となる。そのため、ヒートシンクメーカーと打ち合わせを行い、自由局面にフィットし、かつ本モジュールの発熱を十分に放熱できる容量のヒートシンクを開発した。これにより、最小で直径 21 [mm] 程度の自由曲面まで対応可能なフレキシブルヒートシンクが完成した。

3. 5. 加飾

落ち着きがあり、かつ深みがある加飾を検討した結果、青色系及び白色系の 2 種類について試作した。この 2 種類の加飾工程を表 1 及び表 2 に示す。この工程により加飾した試作品の外観を図 10 に示す。

表 1 加飾工程 (青色系)

No.	工程	塗料	着色
1	下塗り	ウレタン	黒色
2	着色	ウレタン (ラメ入り)	シルバー色
3	着色	ウレタン	青色
4	着色	ウレタン (ラメ入り)	青色
5	中塗り	ウレタン	クリア
6	上塗り	UV	クリア

表 2 加飾工程 (白色系)

No.	工程	塗料	着色
1	下塗り	ウレタン	白色
2	着色	ウレタン (ラメ入り)	シルバー色
3	着色	エポキシ	クリア
4	着色	粉蒔き	金色
5	中塗り	ウレタン	クリア
6	上塗り	UV	クリア



(a) 青色系



(b) 白色系

図 10 加飾後の外観

3. 6. 装置評価

装置を組み上げ、四合瓶内の温度を熱電対で測定して評価を行った。その結果、常温の状態から冷却側は約 1 [hr] で 10 [°C]、加熱側も同様に 50 [°C] に達する性能を有することが確認された。冷却側及び加熱側のそれぞれの上限が可能であるため、その間の温度については温調装置により好みの温度に設定が可能である。

4. 結言

本検討では、福島県で生産が活発な日本酒の更なる消費拡大を目的に、フレキシブルサーモモジュールと県の有する加飾技術を活用した日本酒用温調装置の開発を行った。その結果、以下の結論を得た。

- ・装置の基本構造及びコンセプトを決定した。
- ・素子のはんだ付けの条件を最適化し濡れ不良がなくボイドの極めて少ないリフロー条件を決定した。
- ・モジュール評価用に吸熱特性及び発電特性の測定装置を試作した。
- ・本フレキシブルサーモモジュールに適合するフレキシブルヒートシンクを開発した。
- ・イメージをもとに塗装工程を検討し加飾を行った。
- ・装置を組み上げ四合瓶内の温度を測定した結果、目標の温度となることを確認した。