

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2008

課題番号：19560284

研究課題名（和文） 缶飲料加熱装置における誘導加熱方式の適用による飛躍的な高効率化

研究課題名（英文） The remarkable improvement on the efficiency through the application of induction heating system in the canned drinks heating

研究代表者

飴井 賢治（AMEI KENJI）

富山大学・大学院理工学研究部（工学）・助教

研究者番号：50262499

研究成果の概要：

従来の缶飲料加熱装置は缶飲料を加温状態で販売しているため、売れるまでの間保温が継続され膨大なエネルギーを浪費するだけでなく、賞味期限の激減による商品価値の低下の問題をはらんでいる。そこで本研究では、缶飲料の加熱装置を従来の抵抗加熱方式から誘導加熱方式へ改良し、諸問題の解決を試みた。

まず缶側面に巻線を配置した加熱装置を検討し、磁場解析と試作装置による実験から 340ml の飲料缶を飲み頃温度である 55℃まで 90%以上の高い効率で加熱できることが確認された。しかし、缶の上下間において 35℃程度の加熱ムラが生じることや、約 50 秒の加熱時間を要するといった実用上の問題が現れてきた。そこで加熱ムラの抑制や加熱時間の短縮、更なる加熱効率の改善を主たる課題として検討した。

1. 加熱ムラの抑制

当初、巻線を缶側面にのみ配置する構造を検討していたが、缶下部の加熱効果が不足していたため加熱ムラが生じた。また缶下部で温められた飲料が対流によって缶上部へ移動することも缶下部が加熱されにくい要因であった。そこで缶の各部の渦電流密度を Maxwell-SV（Ansoft）によって磁場解析を行い、加熱効果のシミュレーションを行った。それによると、缶下部の渦電流密度が缶中央に比べ低下していることが確認され、このことが加熱ムラに影響を及ぼすため、渦電流密度の低下を抑制する巻線配置を 2 通り提案した。特に缶下部の加熱を重視した巻線構造に改良することにより、缶下部の渦電流密度が缶側面や上面を上回る特性が磁場解析によって確認された。この結果を基に装置を作製し実験を行ったところ、従来 36℃であった缶上下間の温度差が、10℃まで低減され加熱ムラの抑制が実現された。

2. 加熱時間の短縮

単相 100V 系統の電源容量の制約から注入電力を 1.5kW に制限すると、340ml 缶を 55℃まで加熱するのに約 50 秒の時間を要した。そこで単相 3 線式 200V 系統を想定し 3kW を上限として加熱時間の短縮効果を測定した。その結果、注入電力の増加に伴い加熱時間は緩やかに減少し、2kW で 30 秒、2.5kW で 23 秒まで短縮されることが確認された。しかし注入電力と加熱時間の間には反比例の関係があり、既に飽和域に達していることから、これ以上電力を増加させても加熱時間の著しい短縮は期待できないことが分かった。

3. 加熱効率の改善

更なる効率改善を図るため、インバータの制御方式やボビンの形状、リッツ線の並列導線数について見直しを行った。並列導線数を増加させ巻線抵抗を 1/3 まで減らし励磁周波数を 50kHz 程度まで高めることによって、効率が 2～3%改善されることが確認された。

このようにして、本研究では実用化を考慮した改良を試み、加熱ムラを従来の 36℃から 10℃へ、加熱時間を 50 秒から 23 秒へ、加熱効率を 2～3%改善することができた。本研究により十分に製品化できるレベルまで到達させることができた。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2008年度	1,400,000	420,000	1,820,000
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電力工学，電気機器工学

キーワード：パワーエレクトロニクス

1. 研究開始当初の背景

昨今，地球温暖化や環境悪化，化石燃料枯渇の問題が取りざたされており，その対策としてリサイクルや省エネルギーが推進されている。しかし，このような動きに逆行するかの如くにコンビニエンスストアや自動販売機が今もなお増殖し続けている。そこで冬期間に使用されている缶飲料加熱装置は，缶飲料が常時加温されていることから膨大なエネルギーが浪費されていると思われる。それに加えて乳成分を含む缶飲料は加熱により賞味期限が1年間から2週間に激減し，商品価値の低下，煩雑な品質管理，品質劣化による腹痛，下痢の発症など，多くの問題をはらんでいる。

このように本研究は，利便性を追求する余り省エネルギーや品質管理がなおざりにされている缶飲料加熱装置の現状を技術的に打開する取り組みである。

2. 研究の目的

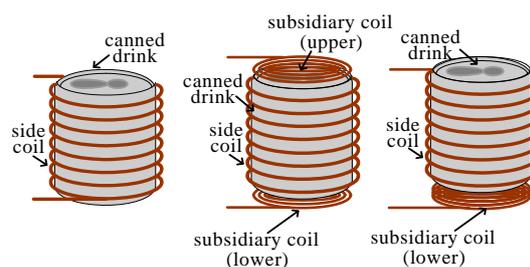
従来の缶飲料加熱装置の問題点は，シーズヒータ等を用いた抵抗加熱方式であり，缶飲料の加熱に1時間程度の長い時間を必要とすることである。このため，その場ですぐに加熱された飲料を必要とする消費者の要求に対応できず，予め加熱して保温せざるを得ないのである。

そこで本研究では，缶飲料を瞬時に加熱できる装置の開発を目的とし，保温のために消費されるエネルギーを零にすることである。また瞬時加熱によって保温する必要がなくなれば，商品価値の低下や品質管理の手間，飲料の品質劣化の問題も同時に解消されるはずである。

3. 研究の方法

(1)磁場解析による巻線配置の検討

誘導加熱を利用して板厚 0.1mm の飲料缶を均一に加熱することが可能であるか否かを検討した。炊飯器や IH 調理器の構造を参考に，被加熱物の側面や下面に巻線を配置する構造で検討した。



(a)側面のみ (b)側面+上下面 (c)側面+下面

図1 巻線配置の検討

図1に本研究で検討した3通りの巻線配置図を示す。まずは図1(a)の缶側面だけに巻線を配置した場合について磁場解析を行い，磁束密度分布と缶側面内部の渦電流密度分布を算出した。その解析結果を基に実験を行い，加熱状態を実測結果から問題点の抽出と改善策の検討を行った。次に図1(b)の缶側面と上下面に巻線を配置した場合と(c)の缶側面と下面に配置した場合について検討し，(a)の時と同様に解析結果と実験結果から問題点の抽出と改善案の検討を行った。このようにして3通りの巻線配置について比較検討した。

(2)実験検証

(1)で検討した3通りの巻線配置に関する解析結果を基に実際に装置を作製して実験を行い，加熱効率，加熱時間，缶上下間における加熱ムラを実測した。また，注入電力の増加による加熱時間への影響を測定した。

(3)磁場の漏洩に関する検討

誘導加熱装置の周辺に漏洩する磁場の遮蔽について検討し，作製した装置に対して磁場解析および，ガウスメータによる実測を行った。巻線の外側にフェライトコアを配置することによる磁場遮蔽の効果について解析と実測値を比較した。

(4)励磁回路の検討

最も基本的な単相フルブリッジ形インバータ回路を用いて実験を行い，巻線構成や励磁周波数，表皮効果が加熱効率に及ぼす影響について検討した。

4. 研究成果

(1)磁場解析による巻線配置の比較

3章で述べたように磁場解析結果を基に設計した3通りの巻線配置による加熱装置を作製し、実験を行った。以下の(b)缶側面と缶上下部に巻線を配置した場合と(c)缶側面と缶下部に巻線を配置した場合の巻線配置における巻線構成を表1に、渦電流密度分布を図2に示す。

(a)缶側面にのみ巻線を配置した場合

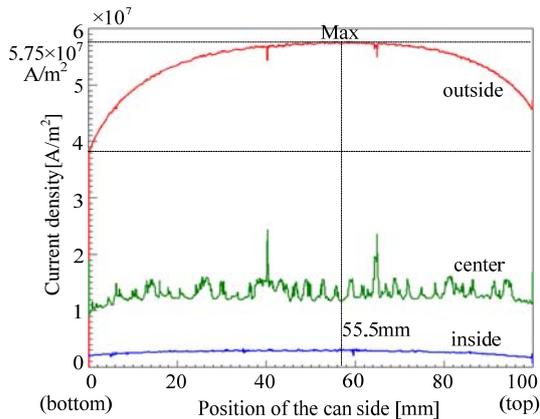
磁束密度、渦電流密度共に缶側面の中央が最も大きくなり、中央から上部および下部へ向うにつれて小さくなるのが分かった。このため缶中央が最も加熱され、缶の上下部が加熱されにくいことが予想された。

(b)缶側面と缶上下部に巻線を配置した場合

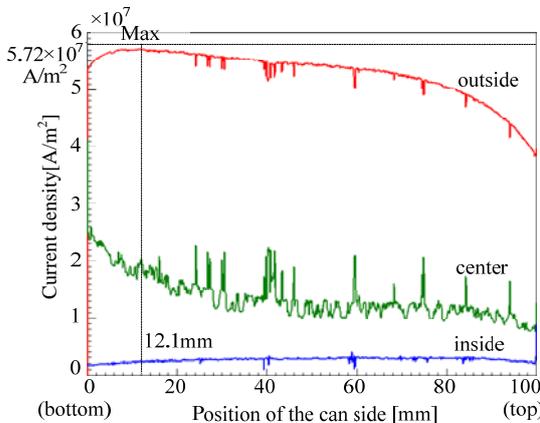
缶側面にのみ配置した場合に比べ缶上下部の磁束密度の低下が改善され、渦電流密度

表1 巻線構成の比較

	巻数[回]			リッツ線の構成			
	上面	側面	下面	断面積 [mm ²]	並列数 [本]	定格電流 [A]	抵抗値 [Ω]
(b)側面+上下面	15	39	14	0.14	5	30	0.33
(c)側面+下面	0	26	60	0.22	12	96	0.12



(b)巻線配置：側面+上下面



(c)巻線配置：側面+下面

図2 渦電流密度の解析結果

で約25%の改善効果が確認された。これにより、缶中央と缶下部の加熱効果の改善が予想された。

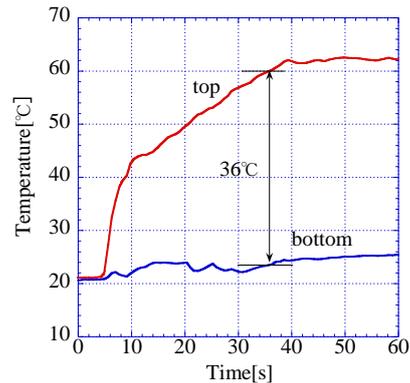
(c)缶側面と缶下部に巻線を配置した場合

缶側面にのみ配置した場合に比べ缶下部の磁束密度の低下が改善され、渦電流密度で約53%の改善効果が確認された。また渦電流密度の最大点が缶下部より12.1mmの位置まで移動し、缶下部の加熱効果の改善が予想された。

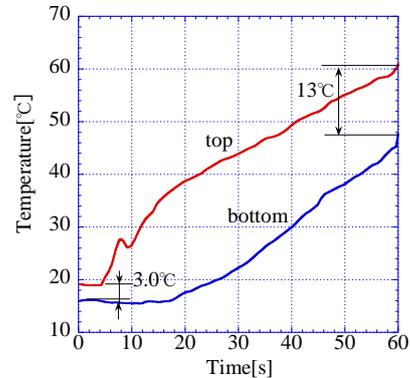
(2)実験結果

(1)の磁場解析結果を基に実験を行った。図3に、(b)缶側面と缶上下面に巻線を配置した場合と(c)缶側面と缶下部に巻線を配置した場合の缶上部および缶下部における加熱時の温度変化を示す。

(a)缶側面のみ巻線を配置した場合、及び(b)缶側面と缶上下面に巻線を配置した場合については、缶下部の加熱効果は渦電流密度の解析結果が示すように非常に弱く、温度上昇は10℃以下であった。また解析では最も加熱されると予想された缶中央についても加熱の度合いは缶上部のそれには及ばなかった。対して缶上部については、磁場解析結果とは異なり、缶の各部の中で高い加熱効果が確認



(b)巻線配置：側面+上下面



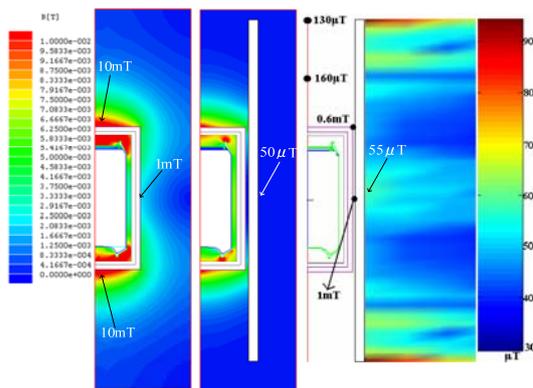
(c)巻線配置：側面+下面

図3 缶上部と缶下部の温度変化

された。これは缶内部の温められた液体が、対流によって缶上部に集められたためであると思われる。このため缶の上下間の加熱ムラは約 30℃にまで達し、加熱ムラが実用化への大きな課題となって表面化した。この加熱ムラを改善するために、缶上部の巻線を無くし缶下部の巻線を増やした(c)の巻線配置を検討した。この巻線配置のコイルを作製し実験を行ったところ、加熱ムラは約 10℃まで抑制され、均一な加熱が実現された。

(3)磁場の漏洩に関する検討

加熱時に発生する高周波の磁場の漏洩について検討した。図 4(a), (b)は、それぞれフェライトコアによる遮蔽なし、遮蔽ありの解析結果、(c)は遮蔽ありの実験結果を示す。(a), (b)の解析結果を見ると、遮蔽なしの場合、缶側面中央の磁束密度が 1mT であるのに対し、フェライトコアによって遮蔽することで 50 μ T に低減しており、漏洩磁場が約 1/20 に抑制されたことが確認された。また、(c)のガウスメータを用いた実測結果を見ると、フェライトコアの前後において 1mT から 55 μ T に低減されており、磁場解析結果とほぼ同等の抑制効果が実測によって確認された。



(a)遮蔽なし解析 (b)遮蔽あり解析 (c)遮蔽あり実験

図 4 フェライトコアによる磁場遮蔽効果

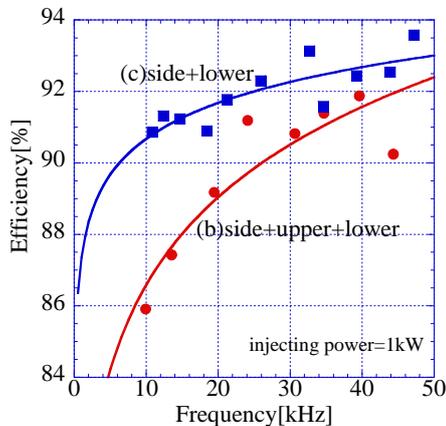


図 5 励磁周波数と効率の関係

(4)励磁回路の検討

励磁コイルに高周波電流を供給する回路として、単相フルブリッジ形インバータ回路を用いて実験を行った。位相シフト制御によって注入電力の調節を行い、コイルに直列に接続された共振コンデンサによってゼロ電流スイッチングを行うことで効率改善を図った。また励磁周波数を 10kHz から 50kHz まで変化させて実験を行い、加熱効率の特性を測定した。図 5 に励磁周波数と効率の関係を示す。1kW の電力を注入したときの(b)側面+上下面と(c)側面+下面の 2 通りの巻線配置について効率を比較した。双方とも周波数を増加させると効率が高まる傾向にあり、(b)の場合に比べ(c)の方が全体的に 2~3%の効率が改善された。

このようにして、本研究では実用化を考慮した改良を試み、加熱ムラを従来の 36℃から 10℃へ、加熱時間を 50 秒から 23 秒へ、加熱効率を 2~3%改善することができた。本研究により十分に製品化できるレベルまで到達させることができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2 件)

- (1) **飴井賢治**, 柴田康貴, 大路貴久, 作井正昭 : 「高周波誘導加熱を用いた缶飲料加熱装置の開発」, 平成 20 年電気学会全国大会講演論文集, 4-058, pp.100 (2008)
- (2) **飴井賢治**, 中谷鉄郎, 大路貴久, 作井正昭 : 「高周波誘導加熱方式を用いた缶飲料加熱装置の試作」, 第 21 回「電磁力関連ダイナミクス」シンポジウム講演論文集 (SEAD21), 21C3-1, pp.519-524 (2009)

〔学会発表〕(計 2 件)

- (1) **飴井賢治**, 柴田康貴, 大路貴久, 作井正昭 : 「高周波誘導加熱を用いた缶飲料加熱装置の開発」, 平成 20 年電気学会全国大会, 4-058, pp.100 (2008)
- (2) **飴井賢治**, 中谷鉄郎, 大路貴久, 作井正昭 : 「高周波誘導加熱方式を用いた缶飲料加熱装置の試作」, 第 21 回「電磁力関連ダイナミクス」シンポジウム (SEAD21), 21C3-1, pp.519-524 (2009)

6. 研究組織

- (1)研究代表者
飴井 賢治 (AMEI KENJI)
富山大学・大学院理工学研究部・助教
研究者番号 : 50262499
- (2)研究分担者
特になし
- (3)連携研究者
特になし