

# ホイップクリーム製造用 攪拌機粘度制御装置の開発

青森職業能力開発短期大学校

工藤 光昭

佐々木 進

佐竹 正敏

## Development of Viscosity Controller for Whipped Cream

Mitsuaki KUDO, Susumu SASAKI, Masatoshi SATAKE

### 要約

菓子工場で用いられるホイップクリームの生産は熟練した職人によるところが大きく、工場内の従業員ローテーションが上手く行かない状況にある。

本研究の目的は攪拌機を止めることなく、その状態を数値化し、だれでも用途に合う状態のホイップクリームの生産を行うための粘度制御装置を開発することである。

平成7年度には三相誘導電動機の力率によりホイッピングの粘度検出を行ったが、8年度は攪拌機の動力を直流電動機に変更し、電機子電流による検出を行うことにした。電機子電流の検出にはホール素子型の電流センサを用いた。

粘度は粘度検出回路の出力電圧を測定し表示することで知ることができる。攪拌機の停止制御は、測定値と設定値とを比較し、測定値が設定値を越えたとき電動機駆動回路の供給電源を遮断するようにした。

その結果、粘度表示回路の簡素化を図り、一定の粘度で攪拌機を停止制御する機能を付加することによって、初期の目的を達成できた。

### 1 はじめに

菓子工場でのサンド用、飾り付け用等に用いるホイップクリームの生産は大型攪拌機を使用して行うが、熟練した職人によるところが大きい。このため工場内従業員のローテーションが上手くいかず、若い職人に比重計を用いた生産を試みた。この試みは攪拌機を止めてサンプルを取り出し、その都度比重の測定を行うため効率が悪く断念している。

本研究の目的は攪拌機を止めることなく、その状態を数値化し、だれでも用途に合う状態のホイップクリームの生産を行うための粘度制御装置を開発することである。しかし、攪拌機容器内はセンサ等容易に取り付けられる状態ではない。そこで、攪拌機の動力源である三相誘導電動機の力率をもって、その粘度を表す

ことを試みた（平成7年度）。

実際に生クリーム（2000ml）をホイッピングするのに要する電力は、その成分と変速比（こねおよびホイッパー回転速度）により異なるが無負荷（材料無し、こね 305 rpm、ホイッパー回転 1346 rpm）で120W程度であり、材料投入後はその値に80~150W加算する値となる。また、ホイッピング適性粘度までの有効検出電力は50~80W程度である。この結果、攪拌機に取り付けられている電動機0.4~0.75kW（実験機は0.4kW）と比べて検出範囲は10~20%と小さく、力率による粘度（変化量）の検出は難しい状況にある。

平成8年度は全面的な見直しを行い、攪拌機の動力源を直流電動機とし、ホイップクリームの粘度検出は電動機電流を用いて行うことにした。また、粘度表示回路の簡素化を図った。さらに一定の粘度で攪拌機を

停止制御する機能を付加することによって、初期の目的を達成したので報告する。

## II ホイップクリームの粘度検出回路

ホイップクリーム用攪拌機の動力は三相誘導電動機から直流電動機に変更した。直流電動機の回転数NとトルクTに関する基本式は次式で示される。

$$N = \frac{V - R_a I_a}{K_c \Phi} \quad (1)$$

$$T = K_M \Phi I_a \quad (2)$$

ここで、Vは電機子端子に印加する電圧、 $R_a$ は電機子抵抗、 $I_a$ は電機子電流、 $\Phi$ は1磁極当たりの電機子表面上の磁束である。 $V - R_a I_a$ は電機子の逆起電力Eを示し、 $V - R_a I_a = N K_c \Phi$ の関係にある。 $K_c$ は電動機の構造上から定まる定数であり、もう一つの定数である $K_M$ とは $K_c = 2\pi K_M$ の関係にある。

電機子電流は負荷トルクに比例する。このことから、電動機電流を測定することによって負荷トルクの状態を知ることができる。

直流電動機の駆動は逆起電力を用いたPWMにより速度制御を行っている。そのキャリア周波数は20kHzである。したがって、電動機電流の検出にはPWMのキャリア周波数に対応するためとその後の回路絶縁を考慮してコアの貫通電流を検出できるホール素子型の電流センサを用いた。これは、ギャップ $l_g$ をもったリングコアに貫通電流 $I_0$ を流すと磁路抵抗はほぼギャップに依存し、ギャップに発生する磁束密度Bは $B = I_0 (\mu_0 / l_g)$ となる。このとき磁束密度は磁気飽和点まで貫通電流に比例する。ホール素子型の電流センサはこの磁束密度をホール素子により検出している。本センサ検出部の直流抵抗とインダクタンスは19mΩと50μHであり、定格電流は5Aである。出力は10mV/A(5mA駆動)で取り出すことができる。

図1は電動機電流の測定によるホイップクリームの粘度検出回路のブロックダイアグラムを示す。

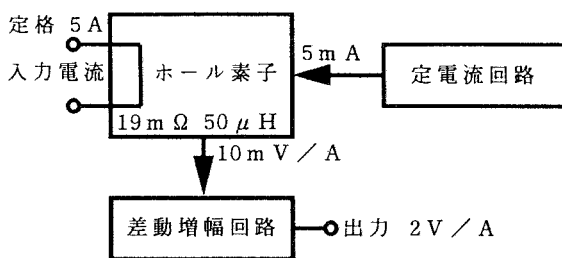


図1 粘度検出回路ブロックダイアグラム

電流センサのホール素子は定電流(5mA)で駆動している。なお、センサの出力は平衡信号出力となっており、以降の回路で取り扱い易いように不平衡信号に変換する。攪拌機のホイッパーはホイップクリームの状態により空転等が起こり、出力電圧はリップルを生ずる。それを積分回路(20ms<時定数)により平均化し粘度検出回路の出力としている。

この出力電圧は電動機の印加電圧が一定であれば攪拌機の負荷の状態を示すものであり、この電圧を測定することで粘度を知ることができる。

## III 電動機電流とホイップクリームの粘度

ホイップクリームは生クリームをホイッピング(かき混ぜ泡立てる)して製造する。したがって、ホイッピングの経過とともに粘度が増していく。粘度(または粘性係数)は一般に次式で表される。

$$\text{粘度 } \eta = \frac{\text{ずり応力 } T}{\text{ずり速度 } D} \quad (3)$$

しかし、ホイップクリームは粘度計によって異なる値を示し、上式に従わない非ニュートン流体であると考えられる。このことから本報告で示す粘度は見かけの粘度である。粘度の測定は単一円筒回転粘度計であるビスコテスターを用いた。図2は粘度検出回路を用いて測定した電動機電流とホイップクリームの粘度の関係を示す。ここで用いた生クリームはトッピング800(不二製油株式会社)2000mlである。表1はその成分を示す。攪拌機のこねおよびホイッパー回転速度は305rpmおよび1346rpmである。

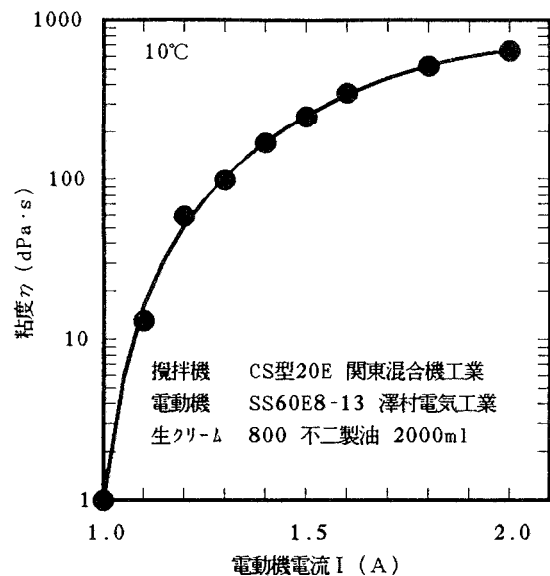


図2 電動機電流とホイップクリームの粘度

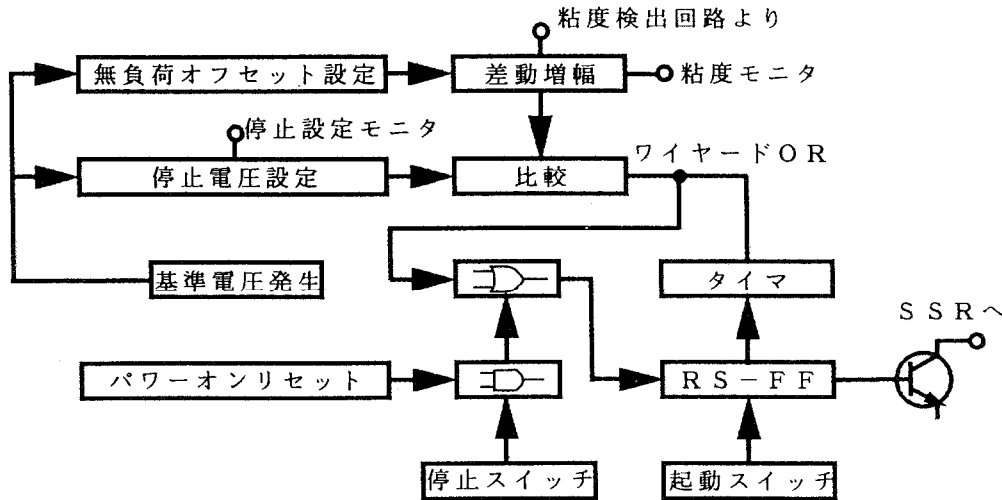


図3 攪拌機停止制御回路のブロックダイヤグラム

表1 試料生クリーム成分

トッピング800 (不二製油株式会社)	
成分	無脂乳固形分 4.0% 乳脂肪分 27.0% 植物性脂肪分 18.0%
食品添加物	乳化剤、増粘剤 (グアー) メタリン酸Na、PH調整剤 香料

表2 直流電動機の諸元

SS60E8-13 澤村電気工業 (株)	
定格電圧	100 V
定格電流	4.8 A
定格回転数	2500 rpm
定格トルク	14 kg·cm
無負荷電流	0.25 A
無負荷回転数	3000 rpm
電機子抵抗	2.4 Ω

#### IV 攪拌機停止制御回路

ホイップクリームの粘度は粘度検出回路の出力電圧を測定することで知ることができる。しかし、粘度の同じものを量産する場合 (粘度を数値化する前とは異なるものの)、常に出力電圧の監視を要するので新たな負担になる。このことから、生産する粘度をあらかじめ設定しておき、ホイップクリームの粘度が設定値に達したとき、攪拌機が止まる機能を付加した。さらに、攪拌機の無負荷時の値でオフセットを与えホイップクリームの粘度だけをモニタできるようにした。攪拌機の停止制御はこの値と設定値を比較し、粘度モニタの値が設定値を越えたとき、電動機駆動回路の供給電源を遮断するものである。図3は攪拌機停止制御回路のブロックダイヤグラムを示す。

電動機は直流電動機を用いていることから、起動時には起動電流 (定格電流の10倍以上) のために設定値を越える。このため、電動機が起動して定常状態になるまでの期間 (3 sec 程度) だけ比較結果の出力をワイヤードORをもって抑制した。電動機停止信号は粘度モニタを監視しながら随時停止できるように、設定値との比較結果の信号と停止スイッチの信号を論理O

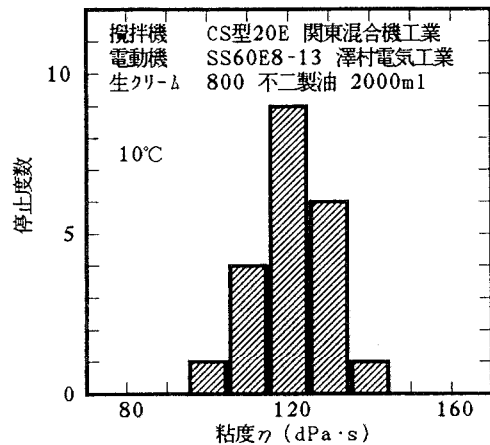


図4 停止設定電圧を一定としたときの粘度度数分布

Rしている。表2は使用電動機の諸元を示す。

図4は停止制御性を確認するために停止設定電圧を一定として、停止時の粘度を測定した結果の度数分布を示す。ここでは停止設定電圧を1.6V一定とし2000の生クリームを用いて行った。攪拌機のこねおよびホイッパー回転速度は同様に305 rpmおよび1346 rpmである。この度数分布 (実験回数21回) から、粘度の平均値  $\bar{x}$  は120 dPa·sであり、分散  $s^2$  は89.0を得てい

る。最確値  $\bar{x}$  (平均値) に対する平均 2 乗誤差  $\epsilon$  は 2.06 dPa・s である。

本研究で用いた攪拌機はこのような自動制御を考慮したものではなく、無負荷状態において粘度検出回路の出力電圧で 0.1V<sub>r</sub> (トルク換算で 0.15kg・cm) 程度のリップルが生じている。このことは停止設定電圧 1.6V 付近の粘度で 50 dPa・s 程度の変化分を意味している。したがって、自動停止制御精度を期待する場合、攪拌機の駆動トルクが一樣になるように歯車を改良する必要がある。

図 5 はホイッピングのための攪拌機と粘度を表示し、攪拌機を自動制御する装置を示す。図で示すように自動制御装置の粘度モニタおよび停止設定モニタは指針振れ角度が 250° の広角度計器を用いている。

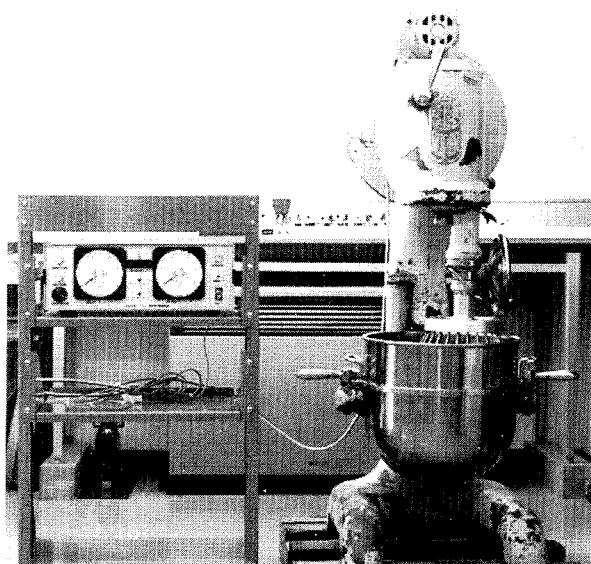


図 5 試作自動制御装置と攪拌機

## V おわりに

本研究は攪拌機を止めることなく、その粘度を数値化し、だれでも用途に合う状態のホイップクリームの生産を行うことができるようにするためのものである。攪拌機容器内はセンサ等容易に取り付けられる状態ではないことから、攪拌機の動力源である電動機そのものをセンサとして使い、その電流を検出して行っている。さらに、無負荷分の電流を差し引いて、ホイッピングの状態だけを表示できるようにした。また、攪拌機にはだれでも用途に合う粘度のホイップクリームの生産を行うことができるようにするためと繰り返し生産が可能ないように止めたい値を設定することにより、その値で自動的に停止する機能を付加した。この停止制御精度の向上を図るためには、攪拌機の駆動ト

ルクを一樣とするための機械的な改良が必要である。また、研究結果を工場に持ち込むためには現場の意見を取り入れた操作性の良いパネルの設計も必要である。

本研究および公開実験の機会を与えて頂いた(株)ラグノオささき新工場準備室室長 大坊民夫氏 はじめ関係各位に感謝申し上げます。

本論文は、平成 7、8 年度雇用促進事業団の実施する事業主団体研究開発事業 (F 方式) における成果として掲載するものである。

事業主団体

協同組合エフ・アイ・ティ研究所

## [参考文献]

- (1) 工藤光昭・佐々木進、ホイップクリーム粘度センサの開発、産業技術高度化振興会「Hi-TEC 青森」No.2 1996.3、P20-23
- (2) 工藤光昭、PWM制御とパワーMOSFET、産業技術高度化振興会「Hi-TEC 青森」No.2、1996.3、P29-36