

魔法の箱



セサミ研究会 編

URL: <http://blues.tqm.t.u-tokyo.ac.jp/esw/>

Copyright © 2001 SESSAME, All rights reserved

本ドキュメントは、組込みソフトウェア管理者・技術者育成研究会（SESSAME）が著作権を所有しています。営利目的とした複製，利用をされる場合にはあらかじめSESSAME事務局による承諾を受ける必要があります。

本ドキュメントを利用したことによって生ずるいかなる損害に関しても、組み込みソフトウェア技術者・管理者育成研究会（SESSAME）は一切責任を負いません。

本ドキュメントに関するご意見・ご提言・ご感想・ご質問等がありましたら、組み込みソフトウェア技術者・管理者育成研究会（SESSAME）事務局まで E-Mail にてご連絡ください。

組込みソフトウェア管理者・技術者育成研究会 事務局：

〒113-8656

東京都文京区本郷 7-3-1

東京大学大学院工学系研究科化学システム工学専攻

飯塚研究室

E-mail sessame@blues.tqm.t.u-tokyo.ac.jp

初めに

科学者で SF 作家のアーサーC クラークは、“高度に発達した技術は、魔法と区別がつかない”という見解を発表して科学と魔法の相対関係を示しました。魔法の箱物語で活躍するウィルとシャルの開発は、きわめて高度な科学力を用いた開発手法といえましょう。

現代の我々は火の鳥や雪の精などを使うほど高度な科学技術をまだ保有していません。我々にできるのは、せいぜいが前世紀に発明されたマイクロプロセッサや液晶、ペルチェ素子といったエレクトロニクス技術とそれらを統合する組込みソフトウェアによって食品の温度を保持する仕組みを実現することです。それでもこれが世の中の役に立っていることは明かです。そして、すでに意外なほど魔法がかっているのです。

本編は、組み込みソフト入門者へ向けて、現実の産業システム、携帯電話、家電品などを開発している技術者達が作った贈り物です。是非御一読ください。

本編では主に“魔法を使わずに魔法の箱のソフトウェアを開発する”ドキュメント例を紹介します。組み込み装置のソフトウェア開発を始めるには、いくつかの文書や図面（合わせてドキュメントと呼ぶ）を事前に用意してから設計作業にかかります。このドキュメントの種類は、開発組織によって分け、呼び名は異なっています。数名以上のソフトウェア担当者が共同で開発を行う場合には、ソフトウェア設計を開始するにあたって、

1. 要求文書： 何を実現したいかをユーザの言葉で記述している
2. システム仕様書： ハードとソフトの全体の機能分担や大まかな仕組みを示す
3. ソフトウェア仕様書： ソフトウェアとして何を作るかを記述している
4. 関連技術資料： 詳細な設計を始めるに必要な機構や電子的情報
5. 開発手法要求： 製品の信頼性を保証するために必要な開発規則などの集まり

などの情報が用意されます。（最近では、もっと多くの情報を用意する傾向にあります）

さらに、開発途上で起きた問題を記録することも行われます。これは、

6. 問題票（あるいは単に開発ログ） などと呼ばれます。

機械工学や電子工学の応用開発では、仕様書と設計図、部品表などの情報によって開発対象を規定し、その情報に従って最終的に実体を組み上げます。ソフトウェア開発がこれらハードウェア開発と異なるのは、仕様書や設計図書などの情報から作り上げる対象が、実体ではなくプログラムと呼ばれる情報であるという点です。

この情報から作るモノが情報であるという 1 点がソフトウェア工学をユニークなものにしているといえるでしょう。是ゆえに上記のようなドキュメントの完成度は、製品であるソフトウェアの完成度、信頼性に直接に影響します。

ここでは、きわめて簡単な要求文書、システム仕様、制御に関わる技術解説を掲載します。本編自体が開発途上ということもあって、現状では良いドキュメントの例を皆さんに読んでいただくところまでの準備はできていません。今後、内容の整備を行う予定です。

課題(要求記述)

「食品(固形食や飲料などを含む)の温度を適温に保つ箱を作ること」

形状要求:

食品は10cm×20cm×30cmのサイズに収まる容器にて保存するので、この大きさがあること。(このサイズの容器に水を満たしたものを食品ファントムと呼び性能試験に使用する。)

機能要求:

食品保持温度は、 -20°C から $+80^{\circ}\text{C}$ までの範囲である。キャンプに使うので、南極でも、火山でも使えなければならない。よって外部温度は -40°C から $+120^{\circ}\text{C}$ の範囲である。利用雰囲気は通常大気中であって湿度は0から100%の範囲で動作可能なこと。

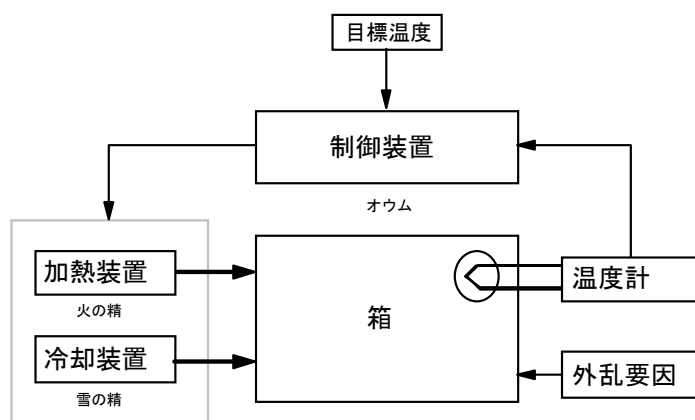
温度制御に必要なエネルギーは、直流電源を利用すること。保温箱には、外気温が 30°C の時に食品ファントムを1時間 5°C に保つに必要な自立運転用の電池を内蔵すること。同時に、外部からの給電端子(内部電池の充電端子を兼ねる)をつけること。また、オプションの保冷材併用ならば同一条件で10時間の運転が可能であること。

また、他人が中身をいじれないようにセキュリティロックをつけること。

システム構成(システム仕様)

物語では、温度制御のために加熱装置として「火の精」、冷却装置として「雪の精」、検出器として「温度計」、それらの制御装置として「オウム」が登場しました。

システム構成図



操作パネルの仕様

魔法の箱フロントパネルには、以下の5アイテムが実装されること。

1. 開閉用の取っ手(パスワードが正当な場合にのみ開閉できること)
2. 温度設定用のダイヤル
3. 加熱中か冷蔵中かをしめす あつい・つめたい の表示ランプ(1秒周期で点滅)
4. 運転のオン/オフスイッチ(オンの時に緑の発光表示をする)
5. 扉を開けるためのパスワード入力テンキー

リアパネルには、DC 供給／充電兼用端子、バッテリーホルダーがつくこと。

関連技術資料(物語で起こった問題点)

1. 過剰加熱、過冷却がおきた
2. 加熱と冷却が同時に行われた
3. 目標温度に達するまえに、高すぎたり、低すぎたりした
4. 目標温度に達した後も、絶え間なく加熱、冷却された

問題解析

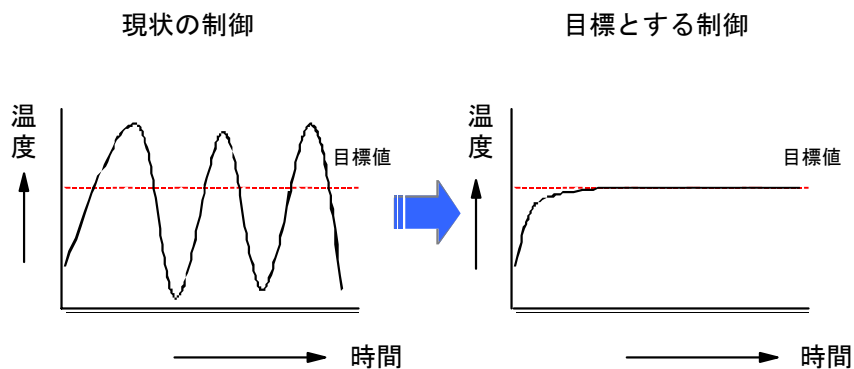
さて、どうすれば解決できるでしょうか。

ウィルが加熱や冷却に使うデバイスの選択を誤ったこともありますし、適切なルールをオウムに教えなかったのも原因です。このルールは、熱の性質(箱の熱容量や熱抵抗:熱の伝わり易さ)を考慮したものでなければなりません。さらに4番目の問題を解消するためには、目標温度に幅を持たせるという「課題」に対する条件付けも必要です。

「適温に保つ」という課題を「温度制御」として言い換えてみましょう。

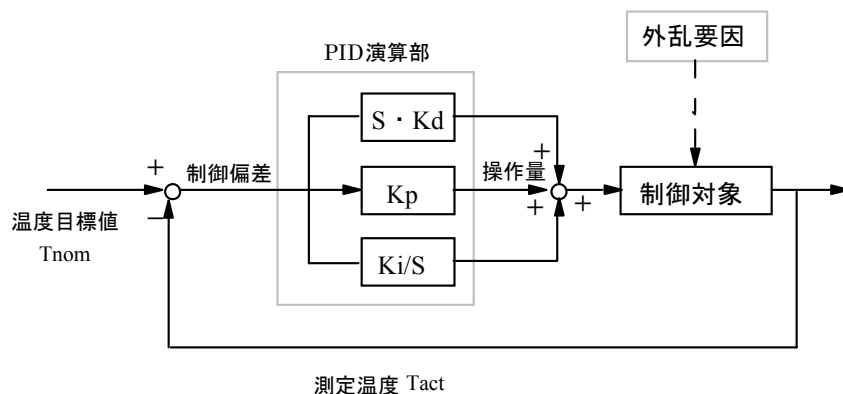
1. 短時間で目標温度に達すること
2. 周辺温度の変動などの外乱に対しても目標温度範囲内で温度を維持すること

温度制御とは



このように結果を見ながら制御する方法を「フィードバック制御」といい、その手法の一つに、PID 制御があります。温度制御に適用してみましょう。

フィードバック制御 (PID制御) ブロック図



温度目標値 Tnom(nominal)が、測定温度 Tact(actual)と突き合わされ、制御偏差として PID 演算部に入力されます。PID 演算結果により操作量が求められ、制御対象に入力されます。制御対象は、外部要因の影響も受けます。測定温度 Tact は系の最初にフィードバックされ、再び制御に反映されます。

PID の演算部は次の要素から構成されています。

積分パラメータ[Ki]:

微分パラメータ[Kd]:

時間空間をラプラス変換[S]:

$$S = \int e^{j\omega t} dt = \frac{e^{j\omega t}}{j\omega}$$

この不定積分を0からTまでの定積分とすると、次のようになります。

$$\left[\frac{e^{j\omega t}}{j\omega} \right]_0^T = \frac{1}{j\omega} \cdot (e^{j\omega T} - 1) = -j \cdot \frac{1}{\omega} \cdot (e^{j\omega T} - 1)$$

PID 制御は、この $j\omega$ 成分をうち消すように積分(i)と微分(d)のパラメータ(K)を使って比例制御(p)を行わせるための仕組みです。

比例演算部[Kp]:

制御対象の温度を上げたり、下げたりするため制御系のゲインです。PID演算部のゲインをGとすると、PID演算部の出力(操作量)を1とするには入力に1/Gを加えなければなりません。

偏差積分部[Ki/S]:

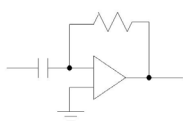
積分時定数。温度目標値と測定温度の差を制御偏差とすると、単なるKpだけの比例制御では目標値を超えたとき、すぐに逆の挙動が起きます。物語では、暖めすぎたときにすぐに冷やすということが行われてしまいました。これが繰り返されると制御系は発振状態になります。暖めるのも冷やすのも程度の問題ですが、制御誤差がゼロになるまで制御量を調整します。

偏差微分部[S*Kd]:

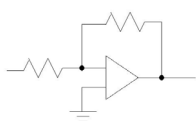
比例演算部と偏差積分部は制御偏差をゼロにしますが、目標値に達する時間が多くかかることがあります。偏差微分することで制御偏差に対する比例制御量を調節し目標値に短時間で収束させます。

各要素についてオペアンプを使った電気回路で表すと次のようになります。

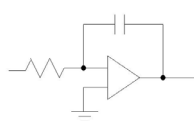
- 1) $S \cdot K_d$ は、入力回路にコンデンサが入ります。
- 2) K_p は、比例回路ですから、帰還回路の抵抗値を変化させると帰還量とアンプのゲインが変わります。
- 3) K_i/S は積分回路ですから、帰還回路にコンデンサが入ります。



1) $S \cdot K_d$



2) K_p



3) K_i/S

実際の制御では、実験で得られたパラメータを元に系が発振(発散)しないように係数を定めます。

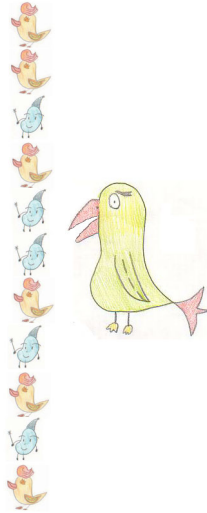
お昼を告げる鐘が鳴りました。いそいで食堂に行かなければ好物のデザートがなくなってしまうます。
ウィルはこのままにして食事に出かけました。

火の精が、どんどん増えて一気に熱くなる。

40度を大きく突破したところで一斉に火の精が消えて、雪の精が現れる。

雪の精が、どんどん増えて一気に冷たくなる。

たっぷり食事とおしゃべりを楽しんでもどってみると、オウムが声をからしながら、ぶつぶつぶやき続けています。箱をみると、温度計は40度を指している、火の精と雪の精がめまぐるしく交互に現れています。



ウィルは、オウムに好物のリンゴを手立て休んでもらうことにしました。

さて、なにがいけなかったのでしょうか。

結果40度に収束させていますが、途中で設定温度を大幅に

上回ったことは、どら焼きを入れていなかったので気がついて
いません……

今後のストーリー展開

魔法で箱ができた後、他の国に輸出することになりましたが、
そこでは魔法は使えません。魔法で実現した機能を機械で作る
こととなります。

今後の展開をお楽しみに！

系」魔法使いの2つのグループがありました。
ウィルと同郷で、一年早く工房に入ったシャルは、初級「硬系」魔法使いです。

今朝、ウィルは「魔法の箱工房」の長をしているフタミにシャルと一緒に呼ばれ、協力して料理をいつまでも新鮮に保つ「魔法の箱」を作るように言われたのです。

フタミの課題は次のものです。

「食品の温度を適温に保つ箱を作ること。キャンプに使うので、南極でも、火山でも使えなければならぬ。」

ウィルは考えました。

一・南極では何でも凍るから、暖めるのが必要だな。「火の精」では小さいから「火の鳥」を使おう。

二・火山では、何でも燃えるから、冷やすものが必要だな。友達の「雪の精」では、融けちゃうから。

カタログを調べます。いいのがないなあ。なににな

その場を凍りつかせる」おじさんのギャグ」

いきなり凍るんじゃないんだから・・・「フリーズード」にするか。

三・見張の番「オウム」をつけて、温度計を読ませて、しい

でに呪文も唱えてもらおう。

温度を調べて目的の温度よりも

高かったら冷やして

低かったら暖めればいいのか。

そのままオウムに教えます。

「箱の中の温度計の目盛りが、聞いた温度よりも高かったら、フリーズードを呼んで冷やしてもう一度。低かったら、火の鳥を呼んで暖めてもう一度。」



さてと、何を入れようかな。

どら焼きがあるから、ひとついれてみるか。

オウムに伝えます。

「箱の中を4度にしておくれ」

オウムは、20度を指している温度計をみて火の鳥を呼び出しま

前書き

若い人には信じられないことかもしれませんが、少し年配の方は、子供の頃、テレビが世の中に現れた時、「受像機の中に小人がいることを信じた人がいたらしい」という話を聞いた記憶があるのではないのでしょうか。

コンピュータが特別な何かから進化して、当たり前のものになるにつれ、一般の人は、それとは知らずにコンピュータを使うようになってきました。

例えば、自動車を運転していてもエンジンの制御やギアの切替えなどはコンピュータが行っていますし、テレビや電子レンジといった家電機器、あるいは流行の携帯電話もそうです。

日本産業の趨勢は、これら多種多様な機器に隠れたコンピュータに処理を命令する「組み込みソフトウェア」の分野を隆盛させることが出来るかどうかによるといっても言い過ぎではないでしょう。

機器に隠れて表面には見えないコンピュータ、小人をあやつる「現代の魔法使い」、それが「組み込みソフトウェア技術者」です。

あらすじ

魔法使い養成所に入った見習い魔法使いが、小人を使いこなして、与えられた課題をパスしたり失敗したりする様を、一話毎にトピックスを決め、ストーリーにして展開します。

おはなし



遠い昔、東方の国にエンベという王国がありました。エンベ王国は、他の国では決して真似のできないような「魔法の箱」を作ることでも繁栄していました。

もちろん、エンベ王国にあっても、そこで「魔法の箱」は作られていた訳ではありません。エンベの王都セサミのような大きな町でだけ、それを作ることが出来たのです。

ある年の春、ウィルは生まれ故郷から、「魔法の箱」作りを学ぶ為にセサミに出てきて、「魔法の箱工房」の小人使い見習いになったのです。「魔法の箱工房」には、ウィルのようには小人を使って、特別な動作をするように「箱」に細工を施す「軟系」魔法使いのグループと、特別な材料から「箱」本体を作る「硬

本ドキュメントは、組込みソフトウェア管理者・技術者育成研究会 (SESSAME) が著作権を所有しています。営利目的とした複製、利用をされる場合にはあらかじめ SESSAME 事務局による承諾を受ける必要があります。

本ドキュメントを利用したことによって生ずるいかなる損害に関しても、組込みソフトウェア技術者・管理者育成研究会 (SESSAME) は一切責任を負いません。

本ドキュメントに関するご意見・ご提言・ご感想・ご質問等がありましたら、組込みソフトウェア技術者・管理者育成研究会 (SESSAME) 事務局まで E-Mail にてご連絡ください。

組込みソフトウェア管理者・技術者育成研究会 事務局：

〒113-8656

東京都文京区本郷 7-3-1

東京大学大学院工学系研究科化学システム工学専攻

飯塚研究室

E-mail seesame@blues.tqm.t.u-tokyo.ac.jp

魔法の箱

ウイルスとシヤルの開発物語



セサミ研究会 編

Copyright © 2001 SESSAME, All rights reserved