

熱の流れ解析におけるパッケージフローモデルの オブジェクト指向プログラミング

1 S - 2

丸繁 卓彦* 石黒 美佐子** 坪井 一洋**
*茨城大学理工学研究科 **茨城大学工学部

1 はじめに

システム挙動を直感的に把握するためのシミュレーション手法であるパッケージフローモデル(PFM)^[1]をセントラルヒーティングシステムの熱の流れ解析に適用し、従来手法の結果との比較から、その有効性について示す。さらに、PFMを1つのオブジェクトとして記述することを提案し、複雑な問題への適用を容易にする。

2 パッケージフローモデルの概念

多くのシステムは、エネルギーや質量のように保存則によって支配されるいくつかの実体粒子の流れシステムと考えることができる。この場合、システムの過渡現象は、エネルギー、質量、熱などの実体粒子流れの変化に対応している。また、システム全体の流れは、通常いくつかの物理段階に分割できる。パッケージフローモデルは、現実のシステム特性のうち、応答の時間遅れに注目し、実体粒子流れを物理段階ごとに計算する。

Fig.1 に示すような仮想流れのあるまっすぐなパイプを考える。注目している実体粒子が、ある与えられた“収集率”で集められ、一定数 N のパッケージに均等に配分される。それがあるパターン分布(落下関数 $w(x)$)でパイプの中の仮想流れに落とされる。パッケージは仮想流れに乗ってパイプの出口に向かって次々と漂流していく。流れがある不変な距離 Δx を進む時間ごとに、 N 個のパッケージが流れに落とされる。時間間隔 $\Delta \tau$ は流速によって変化し、 $\Delta \tau = \Delta x / V(\tau)$ と与えられる。

パイプの出口からの“流出率”は、次式によって計算される。

$$f = \sum_{i=0}^r w_i q(\tau(n-i)) v(t) / v(\tau(n-i)) \quad (1)$$

ここで n は現時間ステップで、 w_i は時刻 $n-i$ に落下した粒子の重みで、落下関数 $w(x)$ から得られる。 $q(n)$ は時刻 t_n での収集率で、1パッケージ中の粒子数(=エネルギー量)である。

各物理段階を数個の PFM によっておきかえることにより、システム全体を記述することが出来る。

“Object-Oriented Programming of Package Flow Model for Heat Flow Analysis”

Takuhiko MARUSHIGE, Misako ISHIGURO,
Kazuhiro Tsuboi
IBARAKI University
Nakanarusawa-cho, Hitachi-shi, 316, Japan.

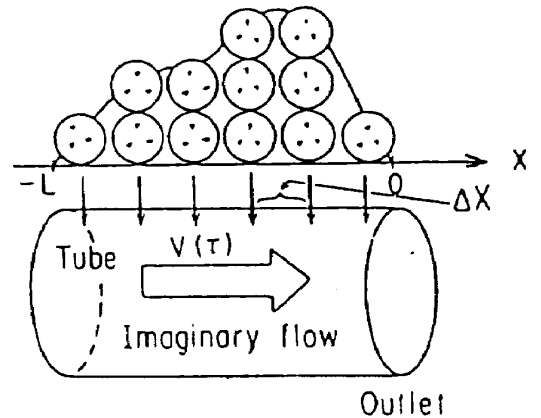


Fig.1 Package Flow Model (PFM)

3 オブジェクト指向による実装

PFM は、多くの物理現象を統一的に扱えることに特徴がある。その性質はオブジェクト指向におけるクラス概念と一致する。様々な物理現象を含むシステム全体を PFM のネットワークで記述することができるため、PFM を1つのオブジェクトとすれば、計算はオブジェクト間の情報のやり取りだけで良い。クラス PFM の概念を Fig.2 に示す。

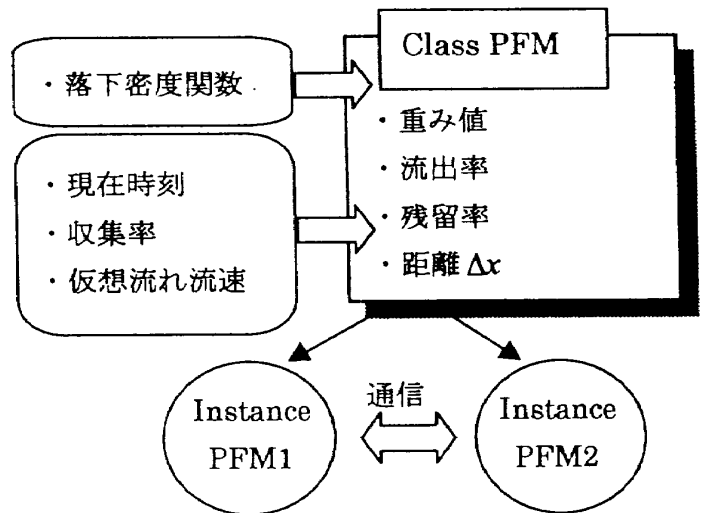


Fig.2 PFM Object diagram

4 セントラルヒーティングシステムへの応用

PFM から構成されるシステムの例として、Fig.3 に示すセントラルヒーティングシステムを考える。

この場合には、PFM クラスから生成される6つのインスタンスのネットワークによって全システムが表現される。このネットワーク図を Fig.4 に示す。

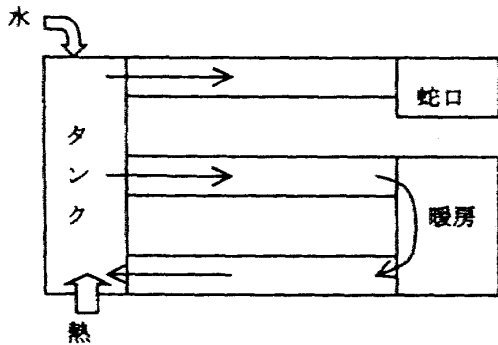


Fig.3 Central Heating System

PFM 1はタンクから配管への湯の流入、PFM 3はタンクから空調への熱の流入、PFM 5は空調からタンクへの熱の流入を表わし、PFM 2, PFM 4, PFM 6は配管からの熱の漏れを表わしている。

給湯部分は PFM 1 と PFM 2 の流出率から現時刻 t_n での蛇口から流出する湯の温度を計算する。

熱エネルギー収支式から求められるタンクの湯の温度 $T_b(t_n)$ から、タンクからのエネルギー流入量 (= PFM1 の収集率 $q_1(t_n)$) を計算する：

$$q_1(t_n) = \rho C_p W(t_n) (T_b(t_n) - 273.15). \quad (2)$$

ρ は湯の密度、 C_p は定圧比熱、 $W(t_n)$ は現時刻 t_n の給湯量である。同様に配管からの漏れ量 (= PFM2 の収集率 $q_2(t_n)$) を計算する。タンクからのエネルギー流入 f_1 と配管からの漏れ f_2 を(1)式から計算する。蛇口での湯の温度を次のようになる：

$$T_w(t_n) = (f_1 - f_2) / (\rho C_p W(t_n)). \quad (4)$$

“落下密度関数”の形は物理的な意味を考え、Fig.4の右上に示すように直感的に定めた。熱の流入に対する PFM1 の落下密度関数は山形でこれは対流拡散を意味している。漏れに対する PFM2 の落下密度関数はフラットな分布とした。PFM 3 ~ PFM 6 に付いても同様に考える。

Fig.5 に一定量の給湯が絶えず行われ、空調を使用した場合のタンクの湯(温度 T_b)、給湯蛇口での湯 (T_w)、空調部の湯 (T_a)、空調配管からタンクへ流入する湯 (T_r) の温度推移を示す。過去から時刻0までは差分法の計算結果、それ以降が PFM による計算である。差分法と PFM 法との接合部分で多少の誤差はあるものの、全体として両者の値は一致している。

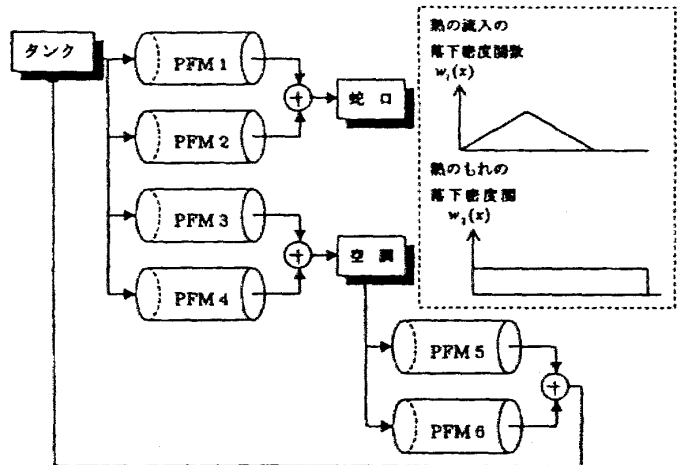


Fig.4 PFM network for Central Heating System

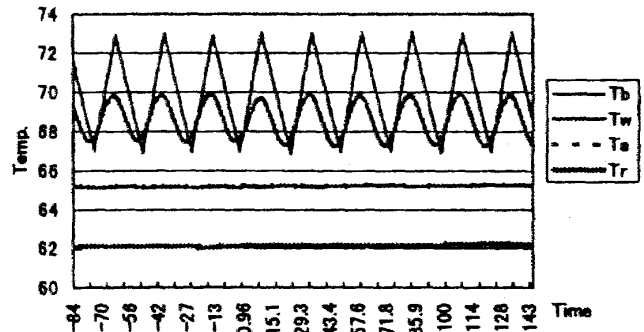


Fig.5 Computational results

5 まとめ

本研究では PFM をオブジェクトとみなすことを提案し、様々な物理現象を含むシステム全体を PFM オブジェクトのネットワークで表現できることを示した。また PFM をセントラルヒーティングシステムの熱の流れ解析に適用することで、熱伝導システムの連結された問題への応用例を示し、PFM のオブジェクト指向プログラミングの有効性を確認した。

参考文献

- [1] Matsuoka, H. and Ishiguro, M.: Package Flow Model by Neural Network Representation for Understanding the Dynamic Behavior of Nuclear Reactor Systems, J. Nucl. Sci. Technol., 33[9], 675-685 (1996).
- [2] 中山茂: オブジェクト指向プログラミング入門, 技報堂出版, (1991).
- [3] 石黒, 松岡, 丸繁: パッケージフローモデル: 動的シミュレーションのためのニューラルネットワーク手法, 情報処理学会, MSP 研究会, (March, 1998)