

外皮・躯体と設備・機器の総合エネルギーシミュレーションツール「BEST」の開発（その 152）
蓄熱システムの試算例と他ソフトとの比較（2）

Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems,
the BEST (Part152)

Example of Trial Calculation of Air Conditioning System with Thermal Storage
and Comparison with Other Software(2)

正会員 ○中塚 一喜（三晃空調） 特別会員 村上 周三（建築環境・省エネルギー機構）
技術フェロー 柳原 隆司（東京電機大学） 名誉会員 中原 信生（環境システック中原研究処）
正会員 二宮 博史（日建設計） 正会員 河路 友也（愛知工業大学）
正会員 南島 正範（関西電力） 正会員 加藤 伯彦（中部電力）

Kazuki NAKATSUKA*1 Shuzo MURAKAMI*2 Takashi YANAGIHARA*3 Nobuo NAKAHARA*4

Hiroshi NINOMIYA*5 Tomoya KAWAJI*6 Masanori MINAMIJIMA*7 Norihiko KATOU*8

*1 Sanko Air Conditioning Co.,Ltd. *2 Institute for Building Environment and Energy Conservation

*3 Tokyo Denki University *4 NESTEC *5 Nikken Sekkei *6 Aichi Institute of Technology

*7 The Kansai Electric Power Co., Inc *8 Chubu Electric Power Co., Inc.

This paper presents some example calculations of air conditioning system with thermal storage using BEST for energy conservation standards (2013). The HVAC system for the design case were remained the same as the standard case, the CAV, but the temperature stratified thermal storage tank with optimized capacity was applied for the energy plant. The calculation results on energy consumption and system dynamics were compared and verified as mostly fair, but leaving some problems to be discussed, then, the comparison of calculation results between BEST and FACES on the ice storage system are discussed from the various points of view.

1 はじめに

前報¹⁾にて、BEST 平成 25 年省エネ基準対応ツール(以下、BEST 省エネ版と表記)の蓄熱部分の概要と、連結完全混合槽型水蓄熱システムの計算結果について報告されている。本報では、前報に続き BEST 省エネ版の温度成層型水蓄熱システムと氷蓄熱システムの試算結果を報告する。

2 温度成層型蓄熱槽の試算

2.1 試算条件

計算対象は前報と異なり、東京に位置する地上 6 階建て、延べ床面積 2220m²の事務所ビルを想定し、空調対象室として基準階(2~6 階)の東側に事務室を設定した。図 1 に基準階の平面図を、表 1 に計算条件を示す。1 階と 2 階~6 階フロア西側部は非空調部とした。なお、本報の目的は熱源の省エネルギー性に対する省エネツールの計算結果の妥当性の評価であるので、二次側システムは基準システムと同じ CAV のままとした。従って各方位に一重窓のある基準階を 1ゾーンで賅っており室内環境分布は妥当ではないことを断っておく。

2.2 システム概要

図 2 に簡易熱源系統図、表 2 に機器の仕様を示す。本システムでは、熱源に温度成層型蓄熱槽と空気熱源ヒートポ

ンプチラーを使用した。蓄熱槽、熱源機器の選定に際しては、TESEP-W ver2.0²⁾を利用した。TESEP-W の選定で使用する空調負荷は、事前に BEST 省エネ版で計算を行い求めた。利用温度差等の入力条件は表 2 による。また、熱源はピークシフトとして選定した。

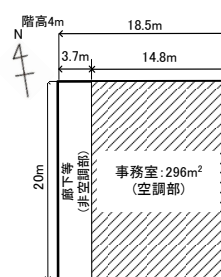


図 1.基準階平面図

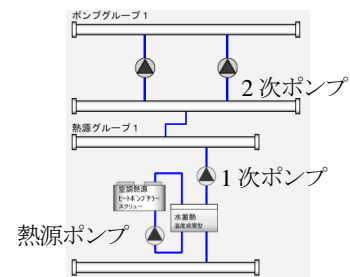


図 2.水蓄熱システム図

表 1.水蓄熱システム試算条件

立地場所	都道府県：東京都、地点：東京
建物用途	事務所
延べ床面積	2220m ² （地上 6 階建て）
空調運転時間	平日：7 時~21 時、土日祝は休日
室内設定温度	12 月~3 月：22℃、暖房 4 月~5 月、10 月~11 月：24℃、冷房 6 月~9 月：26℃、冷房
外気量	900 m ³ /h（事務室 1 階あたり）
窓材等	窓材：透明フロート板ガラス 8 mm
窓面積率	40%、ブラインド有り
壁	外壁：熱通過率 1.02 W/m ² K、内断熱 屋根：熱通過率 0.58 W/m ² K、内断熱

2.3 試算結果

空調に関係する一次エネルギー消費量の計算結果を図3~図4に示す。図3は年間の合計値を、図4は月別のエネルギー消費量を示す。結果によれば、エネルギー消費量は年間で非蓄熱システムである基準値より蓄熱システムである設計値の方が小さい結果となった。さらに空調熱源本体に注目して見ても、一次エネルギー消費量は設計値の方が僅かに小さい結果であった。空調熱源本体について月別のエネルギー消費量を比較すると、概ね設計値が小さかった。空調熱源本体の設計値の傾向としては、前報と同様の傾向を示し、冬期は夏期と比べ設計値と基準値の差が小さくなる、または基準値の方がエネルギー的に有利となった。これは、蓄熱が夜間に熱源を動かすことに主な要因があると考えられる。冬期は寒い夜間に熱源を動かすためCOPが小さくなるが、夏期は涼しい夜間に熱源を動かすためCOPが大きくなる。加えて、蓄熱では熱源が概ね定格運転することもエネルギー消費量を抑える要因である。また、4月と12月に設計値が他の月と比べ大きくなる。これも前報でも指摘されたように冷水槽と温水槽の切替時に蓄熱槽の運転管理・制御が最適化されていないことが原因と考えられる。本制御が最適化されることで、空調熱源本体の消費エネルギーは低下すると考えられ、基準値と比較しさらに蓄熱の方がエネルギー的に有利になるものと推測される。その他、空気搬送や水搬送では設計値のエネルギー消費量が小さい。これは、設計値では水搬送、空気搬送のどちらにおいても基準値より利用温度差を大きく設定しているためだと推定される(基準値 空気:10℃、水:7℃に対し設計値 空気[冷房]:11℃、水:10℃)。また実際に水搬送において設計値は、利用温度差が設定値より大きくなっている。

表2. 水蓄熱システム機器表

名称	仕様	
水蓄熱	温度成層型水蓄熱槽	水容量: 110 m ³ 、水深: 4m、統括入出力断熱性能: 1 W/m ² K 二次側送水限界温度: 8.5℃、43.5℃
	空冷HPチラー	冷暖能力: 118 kW COP 冷房: 3.24、暖房: 3.42 出口温度: 12℃→5℃、40℃→47℃
	熱源ポンプ	定流量 242 L/min × 300 kPa
	一次ポンプ	変流量 330 L/min × 300 kPa
	二次ポンプ	変流量 165 L/min × 300 kPa × 2台 利用温度差: 10℃
二次側	空気調和機(基準階/CAV)	送風量: 9,000 m ³ /h × 400 Pa 冷暖能力: 45 kW 冷温水量: 65 L/min 外気量: 900 m ³ /h 加湿量: 9.0 kg/h
	空気調和機(屋上階/CAV)	送風量: 9,200 m ³ /h × 400 Pa 冷暖能力: 47 kW 冷温水量: 68 L/min 外気量: 900 m ³ /h 加湿量: 9.0 kg/h

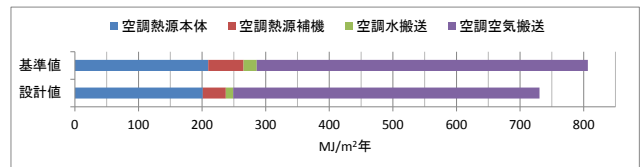


図3. 年間一次エネルギー消費量計算結果

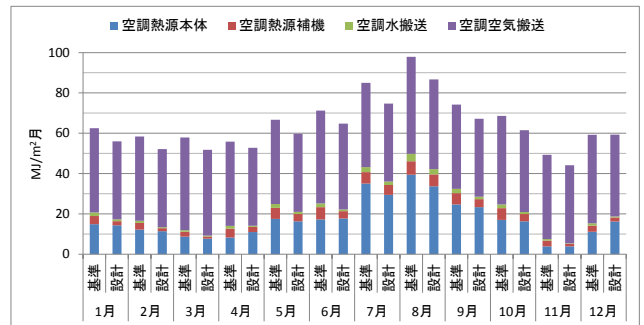


図4. 月別一次エネルギー消費量計算結果

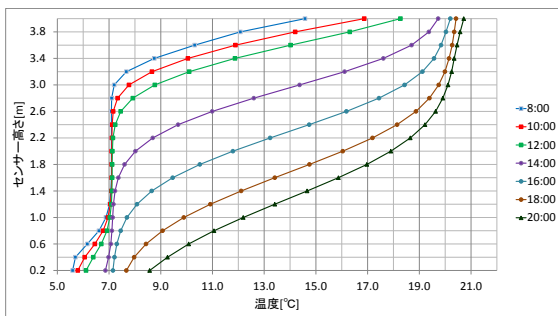


図5. 夏期代表日 放熱時蓄熱槽温度プロフィール

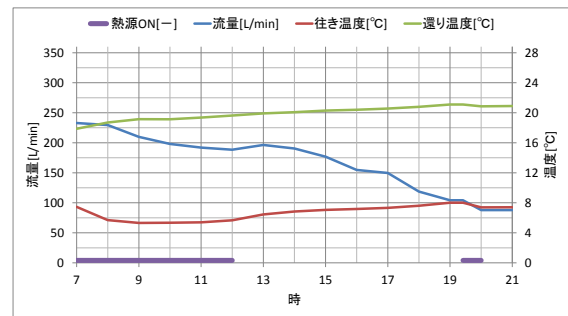


図6. 夏期代表日 二次側稼働状況

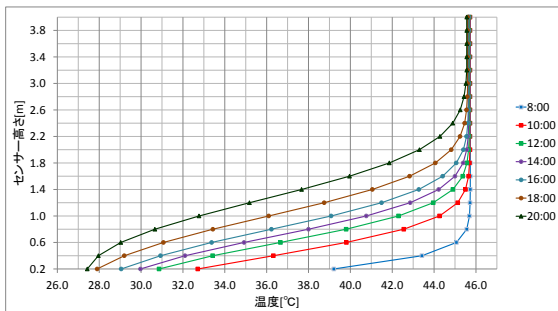


図7. 冬期代表日 放熱時蓄熱槽温度プロフィール

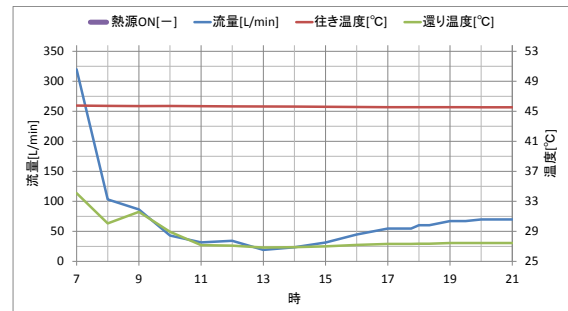


図8. 冬期代表日 二次側稼働状況

図5に夏期代表日の蓄熱槽が放熱する様子を、図6に二次側のコイル出入口温度と流量、熱源のON/OFFの動きを示す。蓄熱槽の温度プロファイルは良好であった。図6の2次側稼働状況によるとコイル出入口温度差は約13℃差あり、蓄熱にとって良好な温度状況であった。また、蓄熱槽最下部の温度が7℃~8℃に対し、コイル入口温度は6℃となっている。これは、蓄熱槽最下部の冷水と熱源から直接供給される冷水が混合するためである。19時半頃から熱源が稼働しているのは、二次側送水限界温度の8.5℃を超えたためである。

図7に冬期代表日の蓄熱槽が放熱する様子を、図8に二次側のコイル出入口温度と流量、熱源のON/OFFの動きを示す。蓄熱槽の温度プロファイルは良好であった。二次側の稼働状況を確認すると、低負荷のため流量が小さかった。従って、二方弁制御の特性上、温度差が約18℃と大きく妥当な動きになっている。また、熱源が空調機稼働中に動いていないことから、負荷は夜間の蓄熱で賄われていることがわかる。

3 氷蓄熱システムにおける FACES での検証

3.1 試算条件

前報と同様に氷蓄熱システムについても FACES³⁾⁻⁵⁾によるシミュレーションを試みた。試算の概要を表3に、基準階平面図を図9に、熱源系統図を図10に示す。建物は前報と同じ建物で、計算はFACES及びBEST(熱源台数制御「有」、「無」)の3パターンを行っている。

3.2 試算結果

昼夜間別の生産熱量及び夜間移行率を図11~13に示す。FACESによる試算結果では冷房期間中における夜間移行率は中間期で90~100%、夏期(8月)では40%程度であった。BESTでは台数制御「有」、「無」ともに、8月における生産熱量(昼夜間計)がFACESに比べて約2割高くなった。また台数制御を「有」にした場合は、「無」と比べて中間期の夜間移行率が低下する傾向がみられた。

中間期における代表日の熱源周りの稼働状況を図14~16に示す。FACESとBEST「無」では蓄熱が有効に利用されているが、BEST「有」では蓄熱槽の1槽が有効に利用されていない様子が見られる。FACESでは、ユニット型熱源機を複数台設定しても蓄熱槽は1槽の設定となり、負荷処理は「蓄熱」を優先利用し、残りの負荷を「1号機熱源」で処理、もしくは「1号機熱源+2号機熱源」で等分処理をする。一方で、BESTではユニット単位で稼働するため、BEST「無」では、負荷の大きさに係わらず1号ユニット(1号機熱源+1号機蓄熱槽)、2号ユニット(2号機熱源+2号機蓄熱槽)で負荷を等分し、その中でそれぞれ蓄熱を優先利用している。またBEST「有」では、1号ユニットの蓄熱が優先利用され、残りの負荷を1号機熱源機で処理し、1号ユニットの能力を

表3.氷蓄熱システム試算概要

項目名		仕様
建物概要		
建物用途		事務所
延床面積		10,000m ² (地上9階)
空調時間		7:00~21:00(月曜~金曜)
冷暖房期間		冷房(4月~11月)、暖房(12月~3月)
熱源		
ユニット型	定格能力	冷房:345kW、製氷:120kW、暖房:309kW
ライン	消費電力	冷房:87.8kW、製氷:33.3kW、暖房:90.1kW
空冷ヒートポンプ	蓄熱槽(蓄熱量)	内蔵式(4,176MJ)、氷専用
	台数	2台

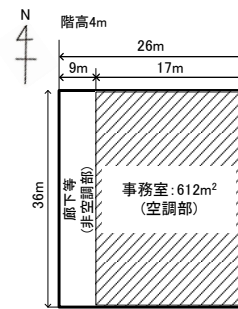


図9.基準階平面図

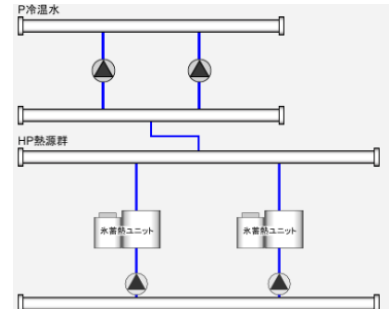


図10.氷蓄熱システム図

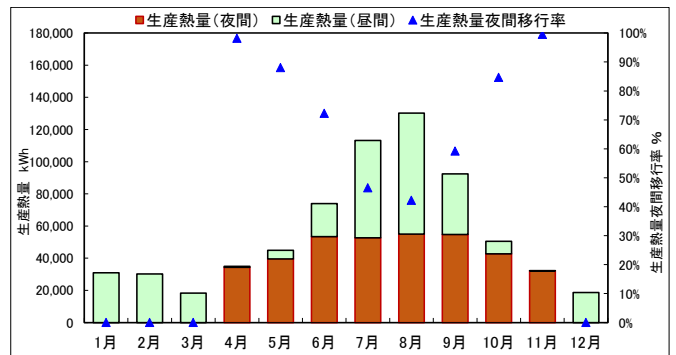


図11.FACES結果 生産熱量・夜間移行率

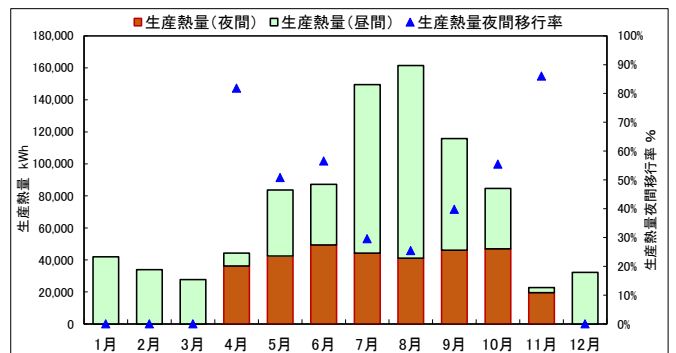


図12.BEST(台数制御無し)結果 生産熱量・夜間移行率

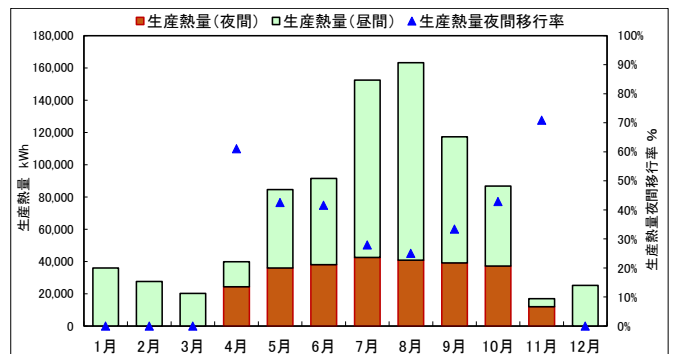


図13.BEST(台数制御有り)結果 生産熱量・夜間移行率

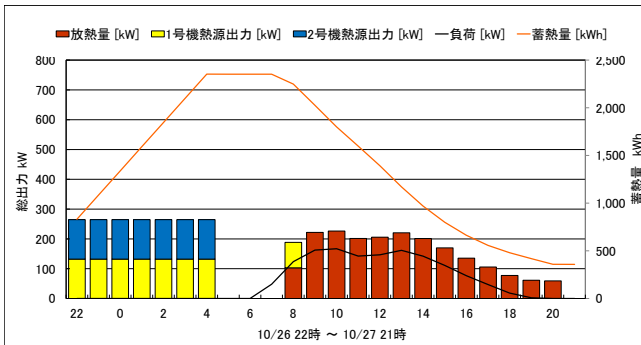


図 14.FACES 熱源廻り稼働状況

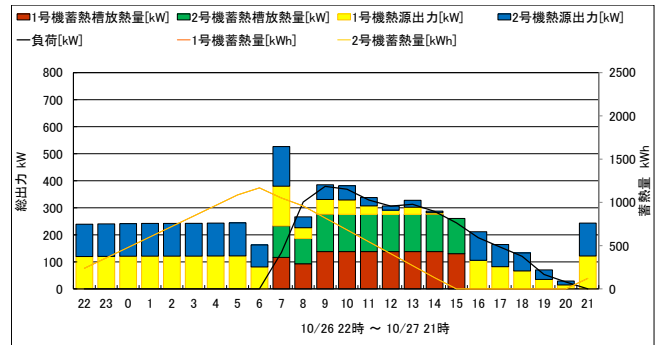


図 15.BEST(台数制御無し) 熱源廻り稼働状況

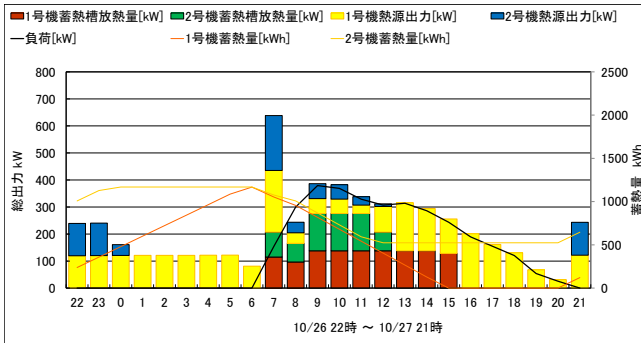


図 16.BEST(台数制御有り) 熱源廻り稼働状況

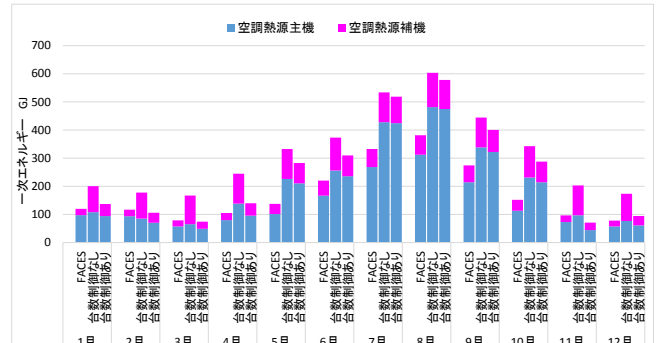


図 17.一次エネルギー消費量結果比較

超える負荷がある場合は、1号ユニットと2号ユニットで等分処理をする。そのため、負荷が小さい中間期では2号ユニットの稼働が抑えられることとなり、2号ユニットの蓄熱が有効に利用されず、夜間移行率が低くなったと考えられる。

FACES、BEST「有」・「無」の熱源主機と熱源補機の月毎の1次エネルギー量を比較して図17に示す。FACESとBESTで建物入力条件や空調負荷計算のアルゴリズムの違いにより空調負荷が異なる中で、全体の動きの傾向は類似していると考えられる。また、BEST「無」とBEST「有」を比較すると、「台数制御無」では負荷を常時熱源機2台で均等分担しているため、補機動力が大きくなっていると考えられる。特に中間期においてその傾向が顕著に現れており、熱源機は効率の悪い低負荷域での運転を行っていることが推察される。

4 まとめ

本報では、BEST 省エネ版の温度成層型水蓄熱槽システムと氷蓄熱槽システムの計算の検討を行い報告した。

温度成層型水蓄熱槽システムの計算では、BEST 省エネ版内でどのようにシミュレーションされるのか詳細を検討し、大きな異常が無いことを確認したが、制御等で修正が必要な部分も見られた。今後、空調ゾーニングの適正化、VAVシステムなど省エネシステムを導入したときの計算結果の評価、他のシミュレーションソフト等との比較により結果の妥当性をより正確に評価したいと考えている。

また、氷蓄熱槽システムの計算では、FACES との比較を行った。システムシミュレーションはどちらも概ね同様の傾向を示したが、BEST における熱源台数制御の違いが、蓄熱の有効利用に影響を与えることが示された。

【謝辞】

本報は、(一財)建築環境・省エネルギー機構内に設置された産官学連携による環境負荷削減のための建築物の総合的なエネルギー消費量算出ツール開発に関する「BEST コンソーシアム」・「BEST 企画委員会」(村上周三委員長)および専門版開発委員会(石野久彌委員長)、蓄熱・蓄電等システム検討 SWG(柳原隆司主査)の活動成果の一部であり、関係各位に謝意を表するものである。蓄熱・蓄電等検討等システム(蓄熱)SWG 名簿(順不同)主査:柳原隆司(東京電機大学)、幹事:合田和泰(蒼設備設計)、委員:中原信生(環境システック中原研究処)、南島正範(関西電力)、柳井崇(日本設計)、加藤伯彦(中部電力)、田中勝彦(東京電力)、工藤良一(蒼設備設計)、河路友也(愛工大)、助飛羅力(三機工業)、野原文男、二宮博史(以上、日建設計)、畠田博之、中塚一喜(以上、三晃空調)、松原隆彦(ヒートポンプ・蓄熱センター)、事務局:生稲清久(建築環境・省エネルギー機構)、木下昭夫、早瀬訓(以上、ヒートポンプ・蓄熱センター)。

【参考文献】

- 1) 河路友也ほか:外皮・躯体と設備・機器の総合エネルギーシミュレーションツール「BEST」の開発(その151)、空気調和・衛生工学会大会論文集、2014.9 予定
- 2) TESEP-W ver.2 水蓄熱槽最適設計プログラムマニュアル(理論編) 2000.4
- 3) 柳原 他:ビル空調熱源経済性評価プログラム-FACES-(第1報)開発の目的と概要、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp.397~400、2004.9
- 4) 二宮 他:ビル空調熱源経済性評価プログラム-FACES-(第2報)プログラムの構成と計算ロジック、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp.401~404、2004.9
- 5) 猪岡 他:システムシミュレーションプログラムにおける蓄熱システム予測制御機能の開発、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp.211~214、2006.9