

サンシャイン計画枚方ソーラーハウスの運転実績と最適システムの検討

サンシャイン研究グループ

Experimental Results on Hirakata Solar House of Sunshine Project and Study on Optimal Solar System

Sunshine Research Group

Abstract

Ohbayashi-Gumi and Sanyo Electric Company, Ltd. have been conducting research on a solar heating and cooling system and a solar house as part of the Sunshine Project of the Agency of Industrial Science and Technology. In 1977, the Hirakata Solar House was completed, Ohbayashi-Gumi having been responsible for design and construction of the solar house, development of the total solar system and the long-term underground heat storage system. Sanyo Electric had been responsible for development of the solar heat collector and an absorption-type refrigerating machine. This paper describes the outline of the Hirakata Solar House, experimental results on operation of the solar house, system simulation methods, a proposal for optimal design of a solar system, and characteristics of the underground heat storage system.

概 要

通産省工業技術院が推進役となって昭和49年からスタートした「サンシャイン計画」のうち「新築個人住宅一太陽熱利用冷暖房および給湯システムの研究開発」を当社と三洋電機(株)で共同受託し、実験住宅を昭和52年3月、大阪府枚方市に完成させその後計測を継続してきた。共同研究のうち当社はトータルシステムの開発、実験住宅の設計・施工、長期土中蓄熱槽の開発を担当し、三洋電機(株)は集熱器と小型吸収冷凍機の開発を担当した。本報告は当社が研究を受託してから昭和55年2月までの研究成果をまとめたものであり、実験住宅の概要、実験住宅における運転実績、システムシミュレーション手法、最適ソーラーシステムの提案、長期土中蓄熱システムの特徴等について要約している。

1. はじめに

昭和49年にスタートした「サンシャイン計画」のうち「新築個人住宅一太陽熱利用冷暖房および給湯システムの研究開発」を当社と三洋電機(株)で共同受託し、実験住宅を大阪府枚方市に完成させ計測を継続してきた。

本報告は研究を開始してから昭和55年2月までの研究成果をまとめたものであり実験住宅の概要、実験住宅における運転実績、システムシミュレーション手法、最適ソーラーシステムの提案、長期土中蓄熱システムの実験結果等について要約して述べたものである。

2. 枚方ソーラーハウスの建設

本実験住宅は平均的家族構成4人を想定したものであり、限られた建築面積のなかで最大限の居住スペースと

動線計画を配慮して設計された。また太陽熱冷暖房システムの運転の高効率化とともに建物自体の省エネルギー化にも十分な考慮が払われている。主な留意点としては、

① 建物の熱損失を極力少なくする観点から平面としては正方形を採用した。

② 室内温度分布の変動を少なくし建物躯体を外界の影響より保護するため100mm厚の外断熱とした。

③ 窓、出入口等の開口部の熱損失を極力小さくし負荷の軽減をはかるため窓は二重化し、開口の大きいガラス戸には断熱雨戸を採用するとともに窓面積率を15%以下に押さえた。

④ 室内居住環境の快適度を高めるため壁体には十分な断熱を施した。また冷温水槽である二次蓄熱槽を一階中央部に設置し居間、食堂における直接ふく射冷暖房を可能にするるとともに二次蓄熱槽の損失熱量を室内冷暖房

に有効に利用できるようにした。本実験住宅の外観を写真-1、平面図を図-1に示す。構造は壁式鉄筋コンクリート造2階建であり、屋根は新しく開発された真空ガラス管型太陽集熱器の持つ特長を生かして陸屋根としている。また真空ガラス管型の設置の自由度を生かして二階南側壁面にも設置している。建物の延床面積は118.52m²である。

図-2は太陽熱冷暖房給湯システムの系統図であり表-1は設備機器の仕様を示す。

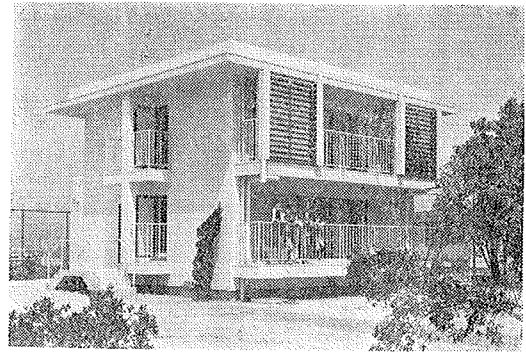


写真-1 枚方ソーラーハウス外観

3. 枚方ソーラーハウスにおける運転実績

3.1. 測定・評価方法

枚方ソーラーハウスでは太陽熱冷暖房給湯システムの性能評価を目的として昭和52年度より運転、計測を開始し、昭和53年4月からは標準的な家族が実際に居住した状態で計測を継続している。計測点は温度、湿度、日射量、流量、電力量等合計180点である。計測システムはミニコンを中心とするものであり、1分から15分間隔で集録したデータをミニコンで処理したのち磁気テープ、コンソールタイプライターに出力する。この磁気テープを大型コンピュータにかけ最終性能評価を行なっている。

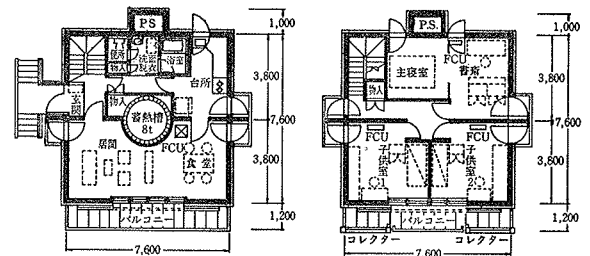


図-1 枚方ソーラーハウス平面 (左:1階, 右:2階)

システムの評価の指標としては次のようなものを採用した。

① システム成績係数

$$= (\text{冷暖房給湯負荷}) / (\text{補助熱量})$$

② 全システム成績係数

$$= (\text{冷暖房給湯負荷}) / (\text{補助熱量} + \text{補機動力})$$

③ 太陽依存率 = { (太陽エネルギーでまかなった負荷) / (負荷) } × 100

①と②の式における補助熱量、補機動力の算出は二次エネルギー換算値(1KWH=860Kcal) または一次エネルギー換算値(1KWH=2450Kcal)を用いるもの

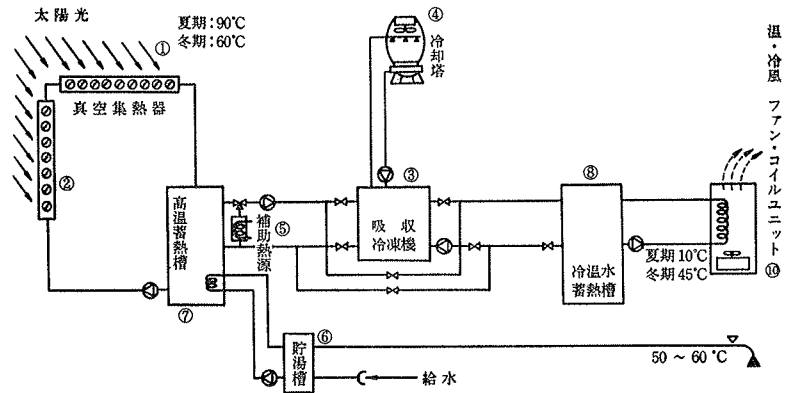


図-2 枚方ソーラーハウス太陽熱冷暖房給湯システム系統図

記号	名称	形式	仕様	記号	名称	形式	仕様
1	太陽集熱器	真空ガラス管式	集熱(有効)面積: 64.0(46.6)m ² 設置傾斜角: 0° フィン傾角: 15°(方位南) 集熱温度(夏): 90°C (冬): 60°C	5	補助ヒーター	瞬間式電気ヒーター	能力: 8,600kcal/h
2	太陽集熱器	真空ガラス管式	集熱(有効)面積: 10.0(7.4)m ² 設置傾斜角: 90° 他は1と同じ	6	貯湯槽(補助ヒーター)	電気温水器(特殊形)	有効容量: 500l
3	冷凍機	吸収式	能力: 6,000kcal/h 冷水条件 温度: 15°C(入口)10°C(出口) 流量: 20l/min 冷却水条件 温度: 31°C(入口)35°C(出口) 流量: 63.5l/min 熱源水条件 温度: 85°C(入口)80°C(出口) 流量: 30.8l/min	7	1次蓄熱槽	給湯コイル組込	有効容量: 1,000l 給湯コイル: 能力4,500kcal/h(60°C)
4	冷却塔	F R P 製	能力: 16,000kcal/h	8	2次蓄熱槽	温度成層形	有効容量: 8,000l 鋼板製、内部エポキシコーティング 断熱 GW100mm 脱着可能断熱扉付
				9	膨脹水槽	(2台)	有効容量: 50l
				10	ファンコイル・ユニット	ダクト接続床置形 床置特殊形(2台)	能力: 3,700kcal/h 5,100kcal/h 能力: 3,000kcal/h 3,600kcal/h 能力: 1,400kcal/h 1,700kcal/h (夏期) (冬期)

表-1 枚方ソーラーハウス設備機器仕様

とする。二次エネルギー換算値を用いた場合には各々、化石エネルギー換算システム成績係数、化石エネルギー換算全システム成績係数と定義する。

3.2. 運転実績

昭和53年4月から昭和54年9月までの測定データ（欠測日数は182日）のうち冬期暖房給湯時（65日間）、中間期給湯時（44日間）、夏季冷房給湯時（83日間）における熱収支図を図-3～図-5に示す。年間における全システム成績係数は2.13、化石エネルギー全システム成績係数は0.75、システム成績係数は13.27、化石エネルギーシステム成績係数は4.66、太陽依存率は95%である。これらの結果が示すように太陽エネルギーによって負荷の大半がまかなわれている。しかし補機動力も大きいため全システム成績係数の値は小さくなっている。また年間の集熱効率は屋上面集熱器で34.2%であった。吸収式冷凍機の年間平均成績係数は0.558であるが瞬時には設計通りの0.6～0.65の値が得られている。一次蓄熱槽、二次蓄熱槽、貯湯槽の効率はそれぞれ0.761、0.772、0.598であった。

また集熱器、一次蓄熱槽のないものを在来システムとして本太陽熱システムと比較してシミュレーションしてみると、今回の実測期間で本太陽熱システムによる一次エネルギー節約量は電力換算では18,145Mcal、ガス換算では8,841Mcal、灯油換算では7,115Mcalである。

昭和52年度から開始した運転を通じて判明し、今後最適な太陽熱システムを実現するうえでの留意点としては次のような事があげられる。

① 各機器、配管からの熱損失が予想以上に大きい故、設計にあたっては機器の小型化、最小配管長、十分な断熱が必要である。

② 補助ボイラーの位置によりエネルギーロスが大きく左右される。本システムにおいては補助ボイラーの位置は最終的には一次蓄熱槽と冷凍機間に置くこととした。

③ 機器の容量の最小化が補機動力を下げる意味から重要であり、この点を十分に考慮することにより全システム成績係数を大きくすることができ

る。

④ システム設計にあたっては集熱面積、冷凍機容量、蓄熱槽容量の適正化と整合化が大切である。

4. 最適太陽熱システムの検討

これまでの運転結果から明らかになった問題点をふまえてシミュレーションにより最適システムおよびシステムの経済性の検討を行なった。シミュレーション手法は各コンポーネントをサブルーチン化し、入力としては冷暖房・給湯負荷、気象条件を用いている。

表-2に示すように現システムの問題点を考慮してシステムの熱損失を抑え、機器類を小型化したシステム6ケースにつきシミュレーションにより算出したエネルギー節約量の結果を表-3に示す。なお補助熱源としてはは

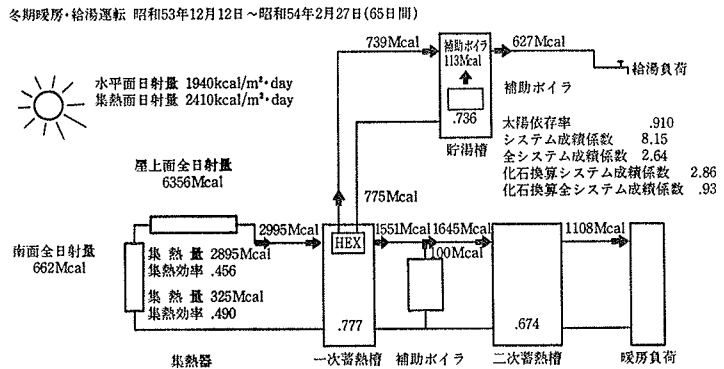


図-3 冬期暖房給湯時におけるシステムの熱収支

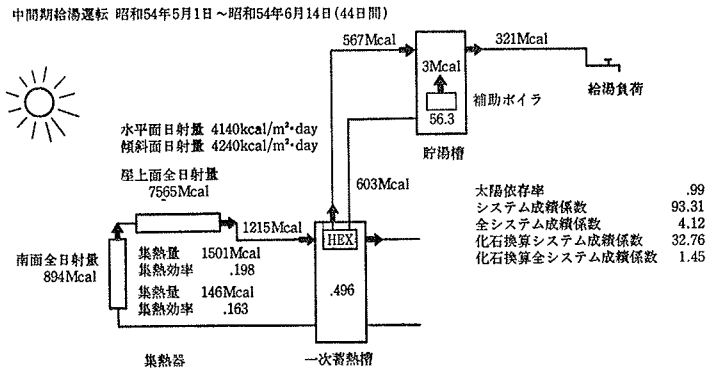


図-4 中間期給湯時におけるシステムの熱収支

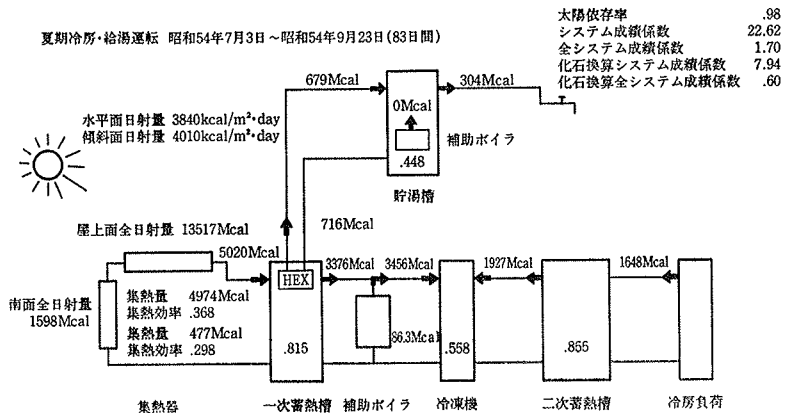


図-5 夏期冷房給湯時におけるシステムの熱収支

ガスのみを考慮している。表-3中のカッコ内は一次エネルギー換算値である。ケース2はケース1のシステムにおける熱損失を減少させたものであるが気象データが異なるため逆に補助熱量が増加している。しかし熱損失が減少しているので無駄な運転がなくなり補機動力が減少している。従って一次エネルギー換算の節約エネルギー量は減少している。各機器を小型化すると二次エネルギー換算では(全)システム成績係数、エネルギー節約量ともに当然小さくなっている。しかし一次エネルギー換算値ではケース3、ケース4が良くなっている。一次エネルギー換算値は基本となるべきものでありこの観点から判断するとケース3、ケース4が最適であると言える。

5. 第二次提案ソーラーハウスの概要と経済性

3章の運転実績、4章の最適システムの検討結果をもとにして現在の枚方ソーラーハウスにかわるほぼ理想的な第二次の提案ソーラーハウスの概要と経済性を検討する。設計にあたっての留意点は次の通りである。

① 平面プランは枚方ソーラーハウスをほぼ踏襲することとする。

② 各機器の容量は極力小型化し、例えばポンプ類は冷却水ポンプを除き50~150w程度に抑える。

③ 各機器はその動作特性に合わせてユニット化し施工の合理化をはかる。

表-4に本提案ソーラーハウスの年間性能予測を、表-5に設備費、経常費の在来システムとの比較を、表-6にソーラーシステムの回収年数を示す。

6. 長期土中蓄熱の研究

6.1. 土中蓄熱の意義

		集熱量 (Mcal)	補助熱量 (Mcal)	補機動力 (Mcal)	太陽依存率 (%)	システム成績係数(-)	全システム成績係数(-)	負荷 (Mcal)
夏	冷房		949	580				1,708
	給湯		3	7				382
	計	2,414	952	587	69	2.20	1.36	2,090
冬	暖房		391	423				1,862
	給湯		252	36				1,086
	計	2,947	643	459	80	4.58	2.68	2,948
中間期	給湯	2,566	22	84	99	73.36	15.23	1,614
年間	計	7,927	1,617	1,130	79	4.11	2.42	6,652

表-4 第二次提案ソーラーハウスにおける太陽熱システムの年間性能予測

ケース	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
集熱面積 (m ²)	45.6	45.6	30.0	30.0	25.0	25.0
1次蓄熱槽 (ton)	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5
冷凍機 (Rton)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5
2次蓄熱槽 (ton)	8.0	8.0	6.5	5.0	6.5	5.0
集熱ポンプ (Kw)	0.75	0.75	0.2	0.2	0.2	0.2
熱源水ポンプ (Kw)	0.2	0.2	0.08	0.08	0.08	0.08
冷却水ポンプ (Kw)	0.4	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2
冷却塔ファン (Kw)	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
1次冷温水ポンプ (Kw)	0.2	0.2	0.08	0.08	0.08	0.08
2次冷温水ポンプ (Kw)	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
給湯用ポンプ (Kw)	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
熱損失	現状	改良	改良	改良	改良	改良
気象・負荷データ	実測データ	大阪標準年	大阪標準年	大阪標準年	大阪標準年	大阪標準年

表-2 最適システム検討のための各ケース別機器容量

ケース	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
負荷 (Mcal)	5931	6561	6561	6561	6561	6561
補助熱量 (Mcal)	549 (686)	701 (876)	1538 (1923)	1617 (2021)	2167 (2709)	2484 (3105)
補機動力 (Mcal)	2409 (6860)	1339 (3814)	755 (2150)	759 (2162)	770 (2194)	808 (2302)
システム成績係数 (-)	10.8 (8.62)	9.36 (7.49)	4.27 (3.41)	4.05 (3.25)	3.03 (2.42)	2.64 (2.11)
全システム成績係数 (-)	2.00 (0.78)	3.22 (1.40)	2.86 (1.61)	2.76 (1.57)	2.23 (1.34)	1.99 (1.21)
太陽依存率 (%)	94	92	81	79	72	68
必要熱量 (Mcal)	9852 (12315)	9242 (11315)	9242 (11315)	9242 (11315)	9242 (11315)	9242 (11315)
必要補機動力 (Mcal)	1076 (3067)	775 (2208)	775 (2208)	775 (2208)	775 (2208)	775 (2208)
エネルギー節約量 (Mcal)	7967 (7836)	7806 (8857)	7724 (9475)	7641 (9364)	7080 (8644)	6725 (8140)

シミュレーション(ケース2~6)においては、冷房期を7/15~9/15暖房期を12/1~3/15、他を中間期としている。

表-3 最適システム検討のための各ケース別エネルギー節約量 (カッコ内は一次エネルギー換算値を表わす)

方式	設備費	経常費
在来方式	1,649,000円	224,400円
太陽熱方式	4,500,000円	51,700円
差額	-2,851,000円	172,700円

表-5 第二次提案ソーラーハウスの設備費と経常費の比較

		エネルギー上昇率		
		9%	12%	15%
借入金利	7%	16	14	12
	5%	13	12	11

表-6 第二次提案ソーラーハウスにおける太陽熱システムの回収年数

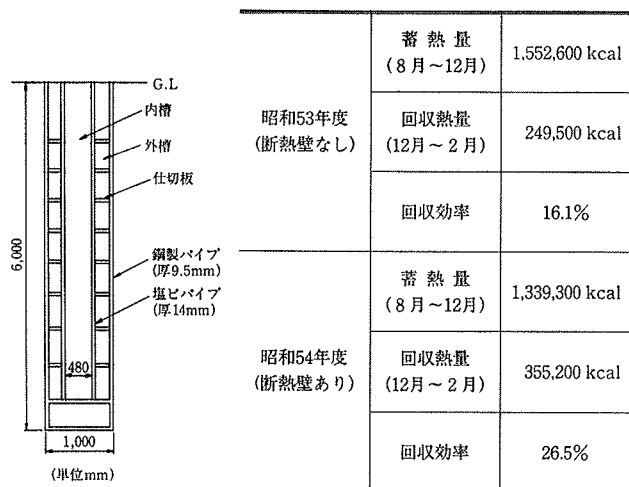
太陽熱冷暖房給湯システムにおいては春、秋のいわゆる中間期においては集熱された熱は給湯に使われるのみで余剰となる。この中間期の余剰熱を長期間蓄熱しこれが必要となる夏、冬に使えば大変有利となる。長期蓄熱の方法には各種あるが顕熱を利用した蓄熱に限って考えてみると代表的な方法として水による蓄熱、土中への蓄熱法がある。水による蓄熱は巨大な蓄熱槽が必要となるので実用的でなく、土中への蓄熱は蓄熱、回収過程における土中遠方への熱の逸散により高い回収率は望めなく、またヒートポンプ利用を前提とした低温での利用等の制約はあるもののシステムが簡単に建設コストが安い等の利点がある。土中蓄熱槽の形状としてはパイプを層状に埋設する方法、筒状のたて長蓄熱槽を埋設する方法等があるが、土中蓄熱槽の特性、運転方式の把握、システムのシミュレーション手法の確立等の基礎的研究の観点より今回は円筒状のたて長蓄熱槽に関して実験を行なった。

6.2. 土中蓄熱実験装置

土中蓄熱実験装置を枚方ソーラーハウスとは切り離して清瀬市の当技術研究所内に昭和53年7月に設置した。本蓄熱槽は図一六に示すように二重管式となっており内槽下部は開放であり外槽と自由に通じている。外槽内を循環する温水はリング状鉄板の一部を打ち抜いた形状の仕切板（上から互に90°ずつ回転した位置に設置）を通過する間に回転流れとなり死水域の形成を防止する。熱源は真空管式コレクター 3m²と電気ヒータ 10KWである。また土中温度測定点は90点である。

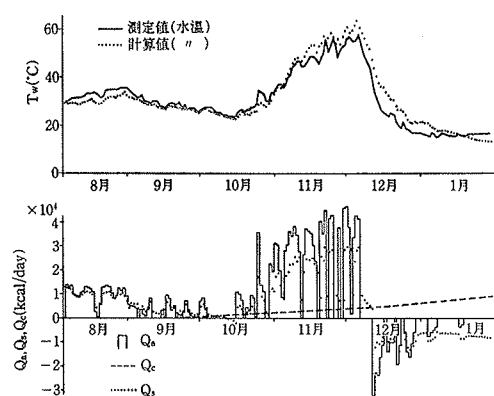
6.3. 実験結果

システムの運転スケジュールとしては8月より土中へ蓄熱を開始し12月上旬に蓄熱を停止する。12月中旬より熱回収を開始し回収時水温が土中恒温域の温度に等しくなった時点で停止するものとした。昭和53年度においては蓄熱槽周囲の土中には何の造作もほどこさない自然のままの状態で行ない、昭和54年度においては土中遠方への熱の逸散を防止するため蓄熱槽外表面より2.5mの距離に幅50~60cmのウレタンによる断熱壁を深さ4mまで円状に設置した。表一七に各年度の回収効率結果を示す。本システムにおいて仮にヒートポンプを設置し土中が本来保有する熱までも回収するならば回収効率は大幅に上昇するものと思われる。図一七は土中熱伝導方程式を一次元円筒座標系に置き換え、システムをシミュレーションした結果と実測値とを比較したものである。蓄熱槽水温は良く一致しており本シミュレーション手法の妥当性がうかがえる。



年度 (断熱壁の有無)	蓄熱量 (8月~12月)	1,552,600 kcal
	昭和53年度 (断熱壁なし)	回収熱量 (12月~2月)
	回収効率	16.1%
昭和54年度 (断熱壁あり)	蓄熱量 (8月~12月)	1,339,300 kcal
	回収熱量 (12月~2月)	355,200 kcal
	回収効率	26.5%

図一六 二重管式土中蓄熱槽 表一七 本土中蓄熱システムの回収効率



図一七 本土中蓄熱システム蓄熱槽水温の計算値と実測値との比較および土中蓄熱、回収量の変動 (昭和53年度)

追記

本研究は昭和49年発足以来、当社においては次の研究メンバーで行なわれた。

田辺四郎, 田中辰明°, 西岡利晃, 宮川保之°, 岡建雄°, 小宮英孝°, 佐羽内真知子° (以上技術研究所)
 中原信生, 酒井寛二°, 宮崎友昭° (以上本社設備部)
 小林満, 後藤達雄°, 喜多村義興° (以上本店設備設計部)

下河内勇°, 宮治長一, 山田耕治° (以上本店設計部)

(注) 丸印は53, 54年度メンバーを示す。

また本研究を行なうにあたり御支援いただいた工業技術院サンシャイン計画推進本部の方々、共同研究者として御協力いただいた三洋電機(株)中央研究所、東京三洋電機(株)の方々に謝意を表します。

(文責 宮川保之)