

特集 蓄冷式ベッドルームクーラの開発*

Development of Sleeper Cabin Cold Storage Type Cooling System

小 中 将 見 松 尾 弘 樹
 Masami KONAKA Hiroki MATSUO

When truck drivers rest in the truck sleeper cabin in the summer, air conditioning for the sleeper is highly desirable. Current practice is to run the engine for air conditioning, however, this practice wastes fuel and is environmentally unsound. This “cold storage type cooling system” can cool the truck sleeper cabin without running the engine when the truck is parked and thus would be preferable from the view-point of fuel savings and environmental protection.

The system we developed can be added to existing air conditioning systems and essentially consists of “cold storage cells” containing water as the cold storage material. The cold storage cells are fitted between evaporator tubes. By making the refrigerant alternately flow between the main evaporator and cold storage evaporator, the cold storage cells are charged while the truck is driving. When the truck is stopped, the sleeper cabin can be cooled by allowing the “cold storage cells” to discharge.

The system has the added advantage that it is very user-friendly because the noise and vibration caused by an idling motor are done away with entirely.

Key words : Air conditioning, Cold storage, Truck sleeper cabin

1 . ま え が き

昨今、全世界規模で環境保護が叫ばれ、東京都のディーゼル車への条例で代表されるように日本では特にトラックに対する排出ガス・騒音に対する風当たりが強くなっている。そのためトラック協会を中心にアイドルストップ（停車時のエンジン停止）運動が徐々に推進されるようになってきた。しかし、ドライブインでの仮眠休憩時等、特に夏場ではエアコンの代替手段がないためエンジンONのまま長時間停車しているというのが実状である。トラック運行管理者もアイドルストップを指示しているものの、この時期は無理強いできず黙認しているようである。

そこで、エンジン停止した状態でもトラックキャビン内の冷房が可能なシステムが、トラックユーザの大きなニーズであり、また地球環境保護につながる重要なテーマであると考え、そのニーズに対応するシステムとして、走行中に蓄冷材を凍結させ仮眠休憩時には蓄冷材の融解潜熱を利用しキャビン内を冷房することにより、エンジン停止で使用可能な冷房システム「蓄冷式ベッドルームクーラ」を開発したので紹介する。

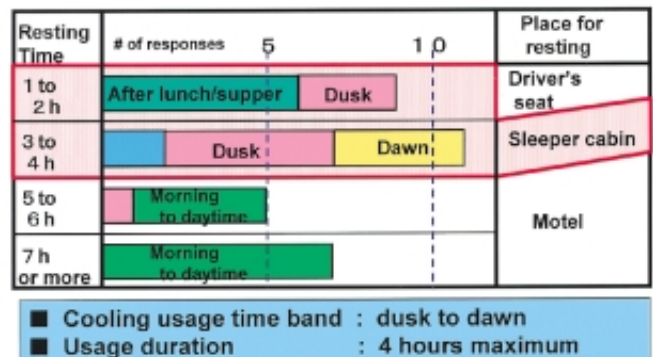
なおアイドルストップとは、一般的には「信号待ち時等の一時的エンジン停止」を意味するが、本開発においてはトラック特有ともいえる「仮眠・荷待ち・休憩時等の比較的長時間のエンジン停止」を主たる対象としている。

2 . 目 標 性 能 (必 要 蓄 冷 エ ネ ル ギ ー 量) の 設 定

「蓄冷式ベッドルームクーラ」の開発にあたりいくつかの性能目標を設定しなければならないがまずトラックユーザへのアンケートを実施し、仮眠休憩時間・仮眠休憩場所等の実態を調査把握し性能目標値・冷房システム等を決定した。

冷房使用時間は、長距離運行において「どれくらいの時間仮眠をとるか」というトラックユーザへのアンケート結果（Table 1）から、「使用時間帯：深夜から明け方」「使用時間：4時間」を決定した。なお主に仮眠施設（モーテル）を利用するという回答は本システムの対象外とした。

Table 1 Trucker resting times and places (Trucker survey)



* SAE の了解を得て、SAE2000-01-1271 を和訳し加筆転載

Reprinted with permission from SAE Paper No. 2000-01-1271(2000.3) © 2000 Society of Automotive Engineers, Inc.)

次に、必要冷房能力は、車両熱負荷と人体発熱負荷との和で求めた。車両熱負荷は、先ほど設定した「深夜から明け方」という熱負荷条件より熱帯夜を想定した外気条件は「30℃、日射なし」とし、仮眠時における快適室内温度条件はASHRAE等より「26℃、50%」として実車を用いた熱負荷テスト結果（Fig.1）より「車両熱負荷：80W」とした。このテスト結果「車両熱負荷80W」に、1人分の「人体熱負荷80W」を加えて「必要冷房能力：160W」を決定した。

必要蓄冷エネルギー量は、必要冷房能力と仮眠時間の積「160W × 4h = 640Wh」とした。

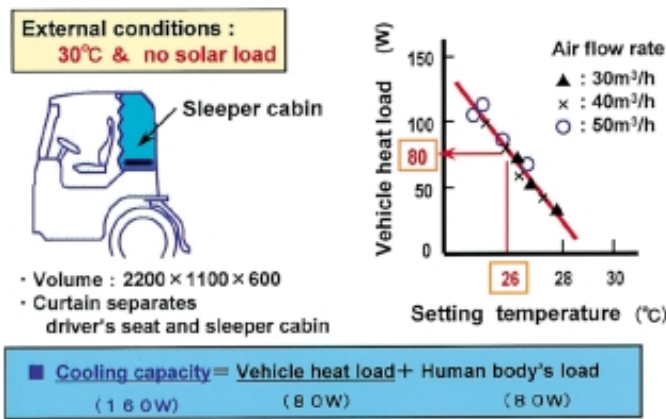


Fig.1 Heat load in truck sleeper cabin

3. 冷房システムの選定

エンジン停止で使用できる160Wの冷房性能をもつ冷房システムの選定について説明すると、Fig.2 のように「蓄冷方式」と「バッテリー駆動方式」がある。

「蓄冷方式」は走行中に蓄冷させたエネルギーを仮眠時に利用する方式で、通常のキャビン冷房用エバポレータと並列に蓄冷材を有する蓄冷用エバポレータを追加し仮眠時にその融解熱を利用する方式である。

「バッテリー駆動方式」は既存の冷凍サイクルとは別個に専用の小型冷凍サイクルを設ける方式で電動コンプレッサで駆動する。

「蓄冷方式」は冷房時の消費電力がファンのみ（約10W）で済み既存のバッテリーにて対応がとれるのに対し、「小型冷凍サイクル方式」ではファンに加えコンプレッサ動力が必要（約100W）なため、既存のバッテリーとは別の大

Type	Cold storage method	Battery-driven method
Layout		<p>Battery (high capacity)</p> <p>Compact refrigeration cycle separate from existing refrigeration cycle</p>
Input	10W (for Blower fan)	100W (for Compressor, etc.)

Fig.2 Comparisons in cooling system

容量のバッテリーが不可欠となる。

従って、搭載性・コスト等を考慮し「蓄冷方式」を採用することとした。

4. 蓄冷方式ベッドルームクーラ構造

蓄冷式ベッドルームクーラは、蓄冷剤を持ったクーラユニットをトラックベッドルームに設置しフロントエアコンシステムとバイパスして配管させた構造となっている。（Fig.3参照）走行中に既設のフロントエアコンシステムを活用して蓄冷剤を凍結させ、停車時に凍結した蓄冷剤の融解熱を使い、ファンにてベッドルームに冷気を供給し冷房する。ベッドルームの空気は、クーラユニット前面の吸い込み口から吸入され凹凸形状の蓄冷パック表面を通過する際に冷やされ、クーラユニット上部の吹出し口から冷気として吹出される。

このシステムにより、エンジン停止時での冷房を可能とした。

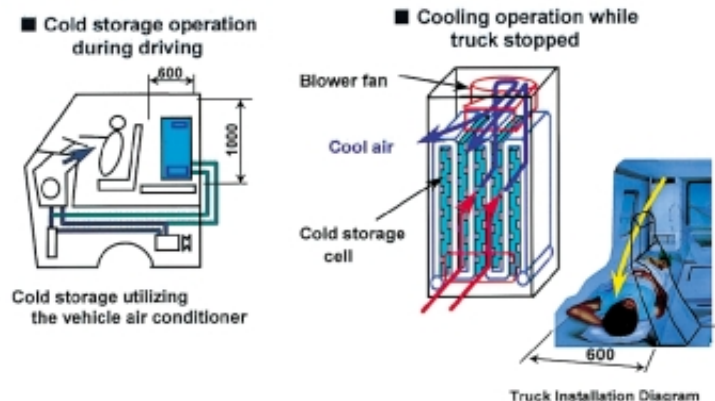


Fig.3 Cold storage type sleeper cabin cooler concept

5. 冷凍サイクル構成

走行中に蓄冷材を凝固させる冷凍技術は、当社で開発しワンボックス車の車載用冷蔵庫として実績のある「間欠作動方式（FIR方式）」を採用した。このFIR方式は、既設のフロントエアコン用エバポレータの上流に電磁弁、そして蓄冷ユニットの上流に定圧膨張弁を持つ「デュアル冷凍サイクル」で構成されており、作動メカニズムを説明すると以下ようになる。

(Fig.4参照)

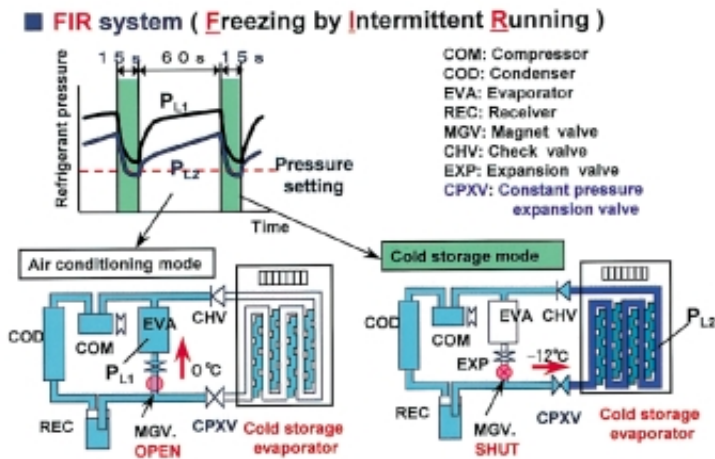


Fig.4 Refrigeration cycle composition

フロントエアコン用エバポレータの上流に設置された「電磁弁」を電気的に開閉し冷媒流路を切り替えるシステムになっており、電磁弁がOPENのときは通常のフロントエアコンとなり、電磁弁がSHUTのときは定圧膨張弁で蒸発温度の低い冷媒が蓄冷用エバポレータに流れ蓄冷が行われる。フロントエアコン用エバポレータの膨張弁蒸発圧力は定圧膨張弁の設定圧力より高圧のため、電磁弁がOPENのとき定圧膨張弁側（すなわち蓄冷用エバポレータ側）への冷媒供給は起こらない。

このようなシステムにより、走行中フロントエアコンをかけながらの蓄冷を可能とした。このエアコンモードとこの蓄冷モードとの時間比率は、キャビンの冷房性能低下への影響・回路切り替え時における吹き出し温度変動に違和感を感じないところで、それぞれ「60秒、15秒」と設定した。

6. 目標性能（蓄冷所要時間）の設定

「蓄冷方式」の場合 使用する時に蓄冷が完了していないと十分な冷房能力を発揮できず「蓄冷完了までに許容される所要時間」に対する目標値が必要であり、

これもトラックユーザアンケート結果「仮眠（休憩）するまでの走行時間」より「3時間以内」と決定した。（Table 2参照）

Table 2 Driving hours before resting (Trucker survey)

Driving time	responses	5	10
1 to 2 h	0		
3 to 4 h	3		
5 to 6 h			11
7 h or more			10

以上述べてきた蓄冷式ベッドルームクーラへの要求性能を整理したのがTable 3である。

Table 3 Summary of performance requirement

Cooling capacity	160W (midnight to dawn)
Cooling time	4 h
Total cold storage energy amount	160W × 4 h = 640Wh
Cold storage completion time	Within 3 h

7. 詳細仕様の設定

蓄冷式ベッドルームクーラへの要求性能（Table 3）を満足させるために検討した詳細仕様について下記に説明する。

7.1 蓄冷材の選定

蓄冷材の材料はいくつかの候補があるが、

潜熱量が大きいこと（軽量化・小型化）

融点が0 近辺で吹き出し温度が10 程度となり快適な冷房感が得られること

低コスト・安全であること

等の選定条件から蓄冷材として「水」を選定した。またその必要量は「総蓄冷エネルギー量640Wh」より約8 kgとした。（Table 4参照）

Table 4 Cold storage material

■ Cold storage material properties

Cold storage material	Freezing point	Latent heat of fusion
H ₂ O	0 (°C)	93 (Wh/kg)
H ₂ O ₂	-2	86
H ₂ O+LLC	-5	86
CICN	-7	51
N ₂ O ₄	-11	44
HCl·2H ₂ O	-18	41

■ Required amount

$$8 \text{ kg} \left(\approx \frac{640 [\text{Wh}]}{93 [\text{Wh/kg}] \times 0.85} \right)$$

7.2 蓄冷パック形状

蓄冷材を入れる蓄冷パックは、フィンレスエバレータのチューブ間に挟み込み冷媒へ熱を与えることにより蓄冷材を凝固させる方式とし、蓄冷パック容器の材料は熱伝導性・柔軟性等より「低密度ポリエチレン」を選定した。蓄冷パック容器形状は

蓄冷時のエバレータチューブから蓄冷パックへの伝熱面積確保

冷房時の蓄冷パックから空気への伝熱面積確保

蓄冷時の蓄冷材が凝固したときの体積膨張吸収を目的としてオフセット形状を採用した。また、冷房時における凝縮水の排水性を考慮しオフセットした溝を傾斜させる構造とした。(Fig.5参照)

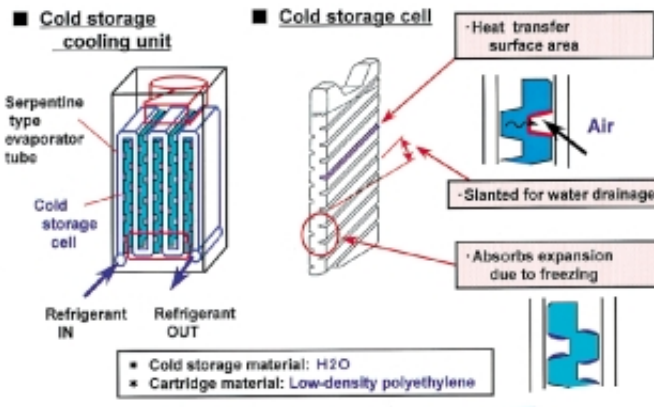


Fig.5 Cold storage cell

7.3 冷房風量

蓄冷方式の場合風量により冷房性能が決まるが、本システムではユーザに対しより快適な空間を提供することに重点をおいて風量を決定した。

顔へのドラフトによる不快感がないレベルとして「顔面風速で0.2m/s以下」
睡眠時の「騒音レベル45dB以下」から「最大風量50m³/h」を設定した。(Fig.6参照)

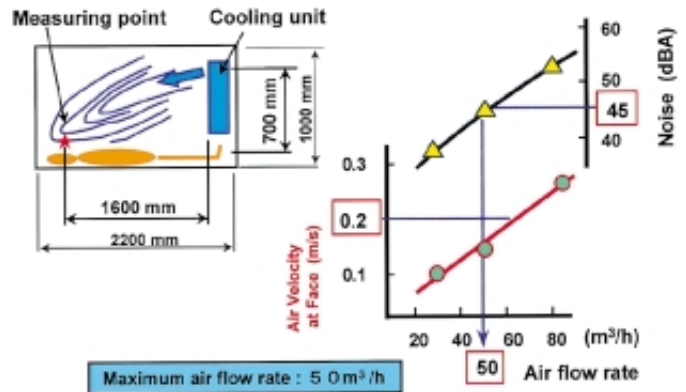


Fig.6 Cooling air flow

7.4 定圧膨張弁設定圧力

蓄冷性能（蓄冷時間）に大きく影響を及ぼすものとして定圧膨張弁の設定圧力がある。設定圧力を高くすると蒸発温度が高くなり蓄冷材との温度差が小さくなり冷却性能が低下する。一方、冷媒流量は増加し冷却性能が向上するという両面の性質を持っている。そのため定圧膨張弁の設定圧力には最適値が存在すると考え、実車走行状態を想定した条件「走行時の平均速度：40km/h相当」「60秒/15秒のFIRサイクル」におけるベンチテストを実施し、「定圧膨張弁設定圧力：0.21MPa」という最適値を見出した。(Fig.7参照)

なお、この設定圧力値は蓄冷材重量（8kg）・エバレータチューブと蓄冷パックとの全接触面積（約0.6m²）・蓄冷パック材質（ポリエチレン、肉厚0.5mm）等の本システムにおける最適値である。

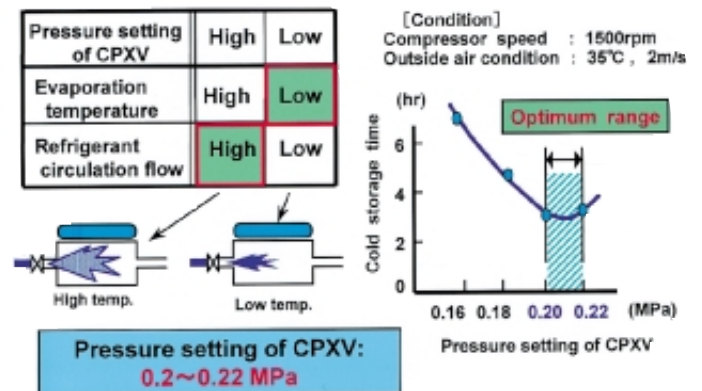


Fig.7 Constant pressure expansion valve pressure setting

8 . 製品概要

以上のような詳細仕様を決定し蓄冷式ベッドルームクーラシステムを製品化した。

Fig.8に蓄冷用クーリングユニットの概略図を示す。凹凸形状の蓄冷パック14個をサーペントインエバポレータのチューブ間に挿入し、ファンおよび吹き出し口はユニット上部に配置してある。

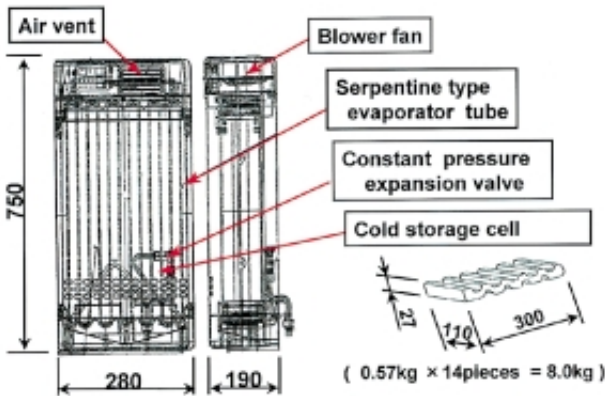


Fig.8 Cold storage type cooler structure

Fig.9に蓄冷用クーリングユニットの写真を示す。操作パネルには、「走行中蓄冷運転を行うか否かを指定するための蓄冷スイッチ」「蓄冷運転中および蓄冷完了を示すインジケータ」「冷房時での風量・温度・タイマ設定ボタン」を設置した。蓄冷パック表面に設けた温度センサで蓄冷完了を判定し、インジケータの点灯、蓄冷運転の終了および再起動を自動で行なう機能をもたせた。フロントカバー内側には室温を検出するための吸い込み温度センサを取付け、風量の切替えによる温度コントロール機能（オート制御）ももたせた。

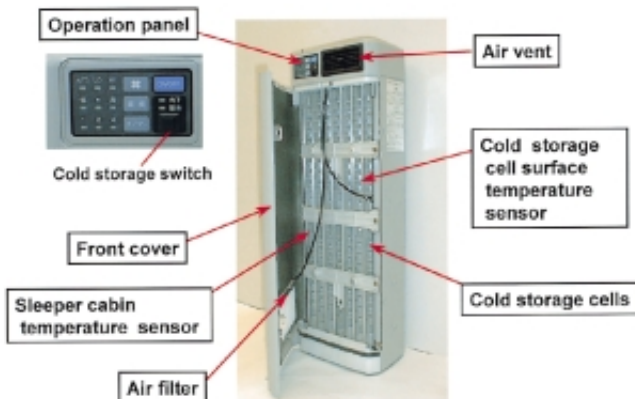


Fig.9 Cold storage type cooler photograph

Fig.10に蓄冷用クーリングユニットの車両への搭載図を示す。トラックキャビンのベッドルームに「蓄冷ユニット」を搭載し、フロントエアコンと接続する冷媒用配管はキャビン下部を通した。

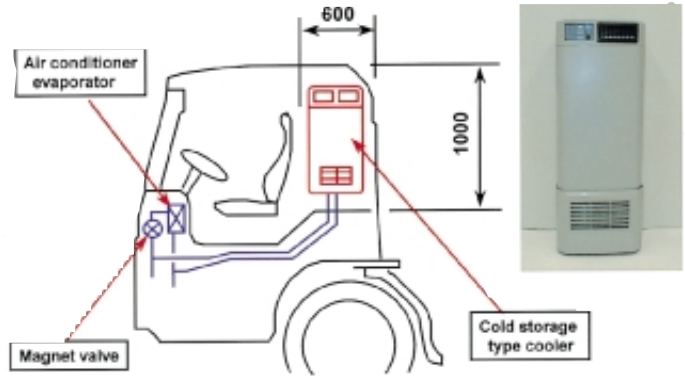


Fig.10 Cold storage cooler mounting position

9 . 実車性能評価結果

蓄冷性能評価結果をFig.11に示す。真夏昼間を想定した「35℃、日射1000W/m²で40km/h走行」の条件で評価を実施し、目標である3時間以内で蓄冷を完了できることを確認した。またFIR運転（間欠作動運転）によるフロントエアコンの性能低下・フィーリング低下に関しても問題なきことが確認できた。

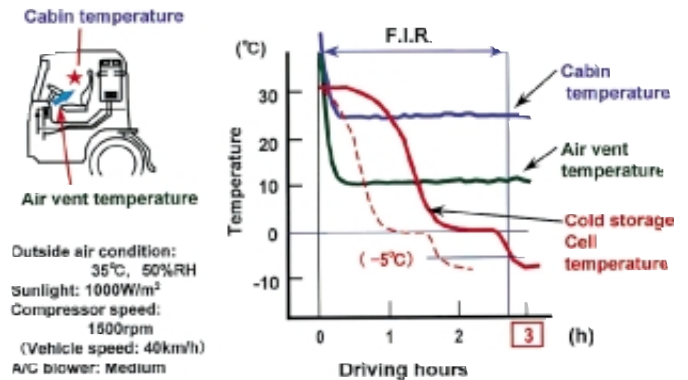


Fig.11 Performance evaluation results (Cold storage performance in vehicle)

冷房性能評価結果をFig.12に示す。「夏場夜間を想定した30℃、日射なし」「車室内設定温度26℃」の条件で評価を実施し、目標である約4時間冷房を維持できることを確認した。

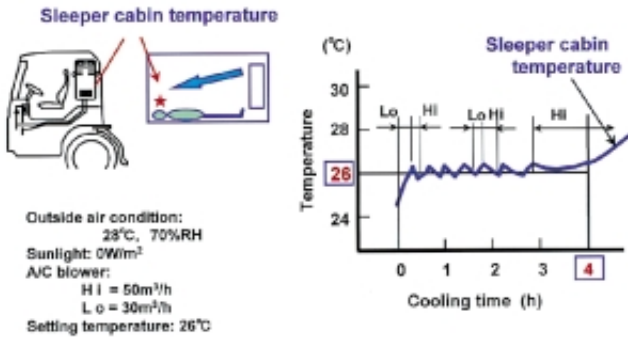


Fig.12 Performance evaluation results
(Cooling performance in vehicle)

10 . むすび

長距離トラックのキャビン内での仮眠に着目し調査・開発を進め、長時間のアイドルストップを実現できる製品として1997年から量産化した。ユーザの反応を聞くと「汎用性を重視しベッドルーム据え置きタイプとしたため居住性が悪化した」「夏場の炎天下でも使用したい」等の意見もあるが、「エンジン振動・騒音がなく快適に仮眠できるようになった」「納入メーカーでエンジンストップが義務付けられたが、エンジン停止で冷房ができ助かっている」との声も多く販売台数は年々伸びている。

昨今、環境保護に対するニーズは年々大きくなり、エンジン停止空調は今後大きく伸びる分野と考えている。本開発における諸技術をベースに、前出のトラックユーザの意見を織り込んだ次期型の開発に取り組み更なる展開を進める所存である。

< 著 者 >



小中 将見
(こなか まさみ)
冷暖房技術4部
自動車(主にトラック)用空調
製品の開発に従事



松尾 弘樹
(まつお ひろき)
冷暖房実験部
冷凍サイクルの技術開発に従事