

温度履歴データ蓄積・管理と認証に関わる運営資金とセンサー＋データ読取に関わるコストの検討が不可欠である。

5) 鮮度管理保証と安全性の確認

実際の生鮮食料品流通経路で、各商品の温度を直接測定するのは現実的ではなく、空気温度を計測することとなるが、両者には乖離が生じることがありその相関性を把握することが必要である。今回、商品温度と空気温度の両方を測定し、ある程度の想定が可能となったが、完全なシミュレーションを行なうのにはさらにデータを取得する必要がある。

6) 普及可能なシステムづくり

温度履歴に関わるシステムを作る際、普及可能なシステムづくりが不可欠である。また、コストのみならず、運用上の操作手法等への配慮が普及に関する大きな要件となる。

5. 実証調査（第二段階）Ⅱ－日常配送業務で想定される温度変化での温度履歴調査

5-1. 目的

本実証調査（第二段階）第4章では、日常業務で実施されている食肉流通の搬送における温度履歴調査を実施した。特に今回は、商品（食肉）温度とそれを保管している環境温度（空気）を同時に測定し、両者の関連を明らかにすることを目的としている。

そこで、実際の搬送経路だけではなく日常の搬送業務で起こりうる温度変化をモデル化し、温度管理の行なえる食肉加工センター（以下、センター）内で実証試験を行ない、空気温度から商品温度を推定するために必要なデータの収集を行い、このデータを基にシミュレーションを行なった。

5-2. 手順

1) 温度変化モデル

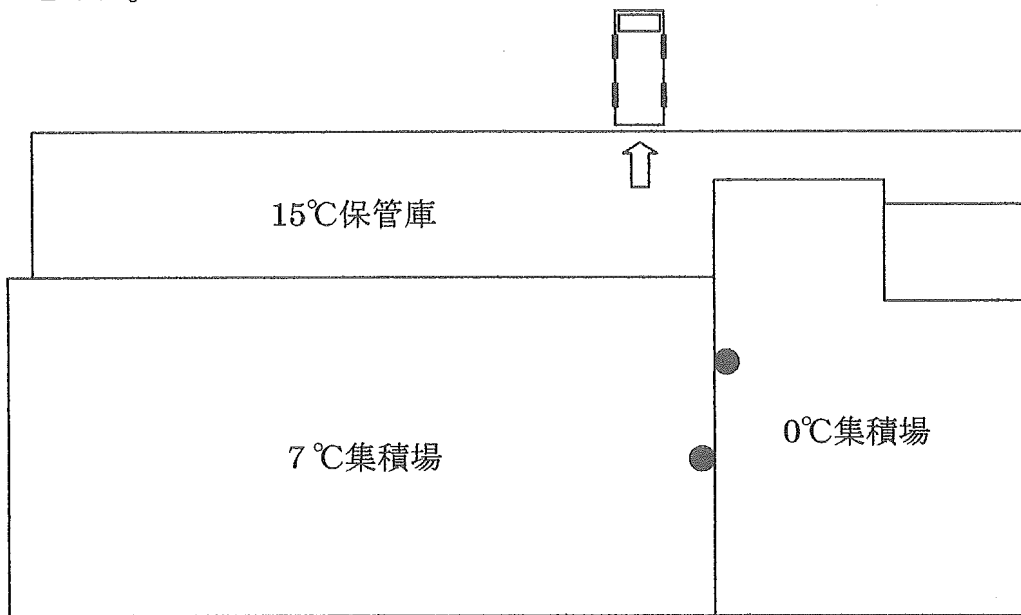
- ① 0℃→7℃（0℃集積場から7℃集積場に移動するケース）
- ② 0℃→15℃（0℃集積場から15℃集積場に移動するケース）
- ③ 0℃→20℃（0℃集積場から20℃集積場に移動するケース）
- ④ 7℃→15℃（7℃集積場から15℃集積場に移動するケース）
- ⑤ 7℃→20℃（7℃集積場から20℃集積場に移動するケース）
- ⑥ 0℃→15℃→7℃（0℃集積場から15℃集積場に30分保管し7℃集積場移動するケース）
- ⑦ 12℃→0℃（12℃集積場に2時間保管し0℃集積場に移動するケース）

各試験を効率よく実施するため、上記パターンを以下のように組合せた。

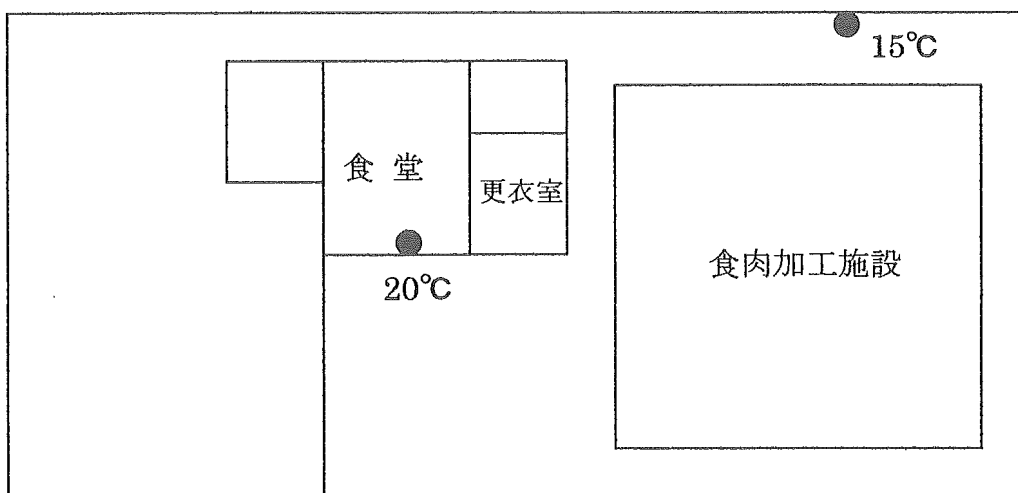
月日	2月1日						2月2日								
時刻	12	14	16	18	20	22	0	2	4	6	8	10	12	14	
①→④	0℃				7℃		15℃								撤 去
⑦→②	12℃	0℃				15℃									
③	0℃														
⑥→⑤	0℃				15℃	7℃									

2) 実施場所

センター内各区域の管理温度を図5-1に示した。温度変化モデルで設定した各温度を得るため、センター内の各所に保冷カーゴを設置することを計画し、事前に各区域の実際の温度を測定した結果、15℃帯の温度が低かった。そのため、通常業務に支障がなく15℃に近い温度を維持できる場所を探した結果、2階食肉加工室前の廊下に設置することとした。また、食堂が20℃に近い温度であったため、ここを20℃帯用の設置場所とした。



1階 平面図



2階 平面図 ● 保冷カーゴ設置場所

図5-1 食肉加工センター配置図

3) 対象商品

対象商品は、日常搬送業務における実証試験で用いたものと同じセンター内で加工された牛ブロック肉（約 300g）と牛スライス肉（約 200g）を、それぞれ発泡スチロールのトレイにいれ、ラップしたもの（以下「商品」）を対象とした。

4) 保冷カーゴへの商品の設置

対象商品は、牛ブロック肉と牛スライス肉を一組としてプラスチックコンテナに入れたものを二組用意した。一組は日常搬送業務における実証試験と同様に、保冷カーゴ右側の下から5段目に収納した。もう一組は、保冷カーゴの天井部分に設置した。（図5-2、5-3）

5) 商品及び保冷カーゴへのセンサー取り付け

商品へのセンサー取り付けは、日常搬送業務における実証試験と同様に、牛ブロック肉内部と上面中央に取り付け、牛スライス肉は上面中央に取り付けた。また、商品を入れたサンテナにもセンサーを一つ設置した。保冷カーゴには、日常搬送業務における実証試験と同じように保冷カーゴ右側に取り付けた。なお、モデルケース①→④と同⑥→⑤では、保冷カーゴ断熱材内側にもセンサーを取り付けた。

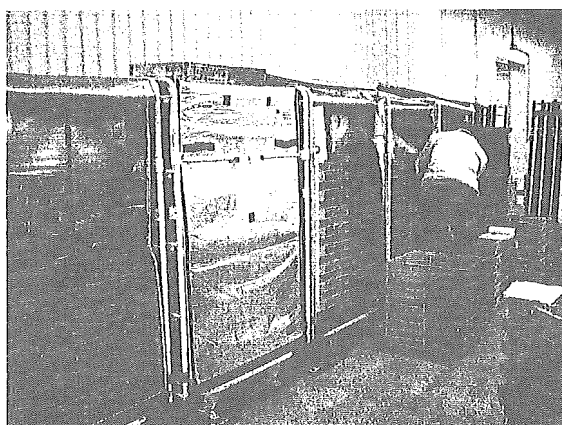


図5-2 商品を保冷カーゴにセット

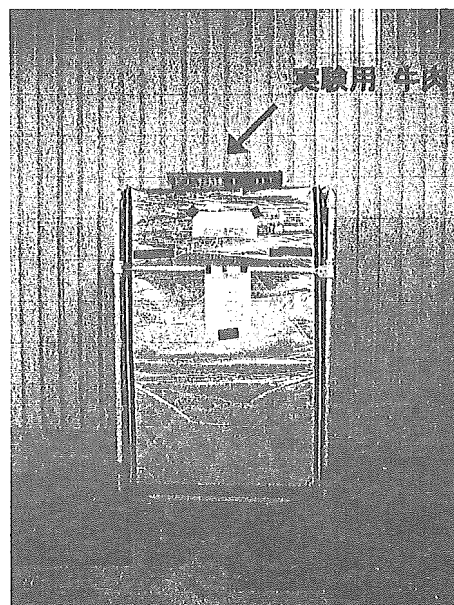


図5-3 保冷カーゴ天井にセットされた一組の商品

5-3. 使用センサー

日常搬送業務における実証試験に用いたものと同じものを使用した。

5-4. 結果

- 1) 使用した各センサーの設置場所及び設定を以下の表にまとめて記載した。なお、表中の設置場所記号 A~D は、以下の温度設定パターンの組合わせに対応している。

設置場所記号	温度設定パターン組合
A	① (0℃→7℃) → ④ (7℃→15℃)
B	⑦ (12℃→0℃) → ② (0℃→15℃)
C	③ (0℃→20℃)
D	⑥ (0℃→15℃→7℃) → ⑤ (7℃→20℃)

ID	設置場所	スタート	間隔	備考		
254000	040438	A1	スライス表面(カーゴ内)	2005/2/1 11:00	1分	グループ A: 構内(①→④)
254000	03FCBB	A2	ブロック表面(カーゴ内)	2005/2/1 11:00	1分	0℃: 2/1 12:00~2/1 20:00
254000	041358	A3	ブロック中央(カーゴ内)	2005/2/1 11:00	1分	7℃: 2/1 20:00~2/2 4:00
254000	041945	A4	スライス表面(カーゴ外)	2005/2/1 11:00	1分	15℃: 2/2 4:00~
254000	03FD9B	A5	ブロック表面(カーゴ外)	2005/2/1 11:00	1分	
254000	041540	A6	ブロック中央(カーゴ外)	2005/2/1 11:00	1分	
254000	03EE17	A7	カーゴ内(サンテナ)	2005/2/1 11:00	1分	
254000	03E993	A8	カーゴ外	2005/2/1 11:00	1分	
254000	03F388	A9	カーゴ断熱材裏(内側)	2005/2/1 11:00	1分	
254000	03EE8E	B1	スライス表面(カーゴ内)	2005/2/1 11:00	1分	グループ B: 構内(⑦→②)
254000	03FA9F	B2	ブロック表面(カーゴ内)	2005/2/1 11:00	1分	12℃: 2/1 12:00~14:00
254000	041D5A	B3	ブロック中央(カーゴ内)	2005/2/1 11:00	1分	0℃: 2/1 14:00~2/2 4:00
254000	043353	B4	スライス表面(カーゴ外)	2005/2/1 11:00	1分	15℃: 2/2 4:00~
254000	041C52	B5	ブロック表面(カーゴ外)	2005/2/1 11:00	1分	
254000	03FBBE	B6	ブロック中央(カーゴ外)	2005/2/1 11:00	1分	
254000	0408CF	B7	カーゴ内(サンテナ)	2005/2/1 11:00	1分	
254000	040BE5	B8	カーゴ外	2005/2/1 11:00	1分	
254000	040257	C1	スライス表面(カーゴ内)	2005/2/1 11:00	1分	グループ C: 構内(③)

254000	0432AD	C2	ブロック表面(カーゴ内)	2005/2/1 11:00	1分	0°C:2/1 12:00~2/1 20:00
254000	03F815	C3	ブロック中央(カーゴ内)	2005/2/1 11:00	1分	20°C:2/1 20:00~2/2 4:00
254000	043013	C4	スライス表面(カーゴ外)	2005/2/1 11:00	1分	
254000	03EF4A	C5	ブロック表面(カーゴ外)	2005/2/1 11:00	1分	
254000	043EEB	C6	ブロック中央(カーゴ外)	2005/2/1 11:00	1分	
254000	043ADA	C7	カーゴ内(サンテナ)	2005/2/1 11:00	1分	
254000	043D98	C8	カーゴ外	2005/2/1 11:00	1分	
254000	03F25D	D1	スライス表面(カーゴ内)	2005/2/1 11:00	1分	グループ D:構内 (⑥→⑤)
254000	043053	D2	ブロック表面(カーゴ内)	2005/2/1 11:00	1分	0°C:2/1 12:00~2/1 20:00
254000	042FB2	D3	ブロック中央(カーゴ内)	2005/2/1 11:00	1分	15°C:2/1 20:00~2/1 20:30
254000	04028E	D4	スライス表面(カーゴ外)	2005/2/1 11:00	1分	7°C:2/1 20:30~2/2 4:00
254000	04046B	D5	ブロック表面(カーゴ外)	2005/2/1 11:00	1分	20°C:2/2 4:00~
254000	043658	D6	ブロック中央(カーゴ外)	2005/2/1 11:00	1分	
254000	03EDCF	D7	カーゴ内(サンテナ)	2005/2/1 11:00	1分	
254000	040E17	D8	カーゴ外	2005/2/1 11:00	1分	
254000	03F42F	D9	カーゴ断熱材裏(内側)	2005/2/1 11:00	1分	

2) それぞれのパターンにおける時間経過と温度変化を表にまとめた。表中のセンサー温度表示のランで用いた略号は、以下の通りである。

- ・ スラ：牛スライス肉上部
- ・ ブ上：牛ブロック肉上部
- ・ ブ中：牛ブロック肉中央

①→④ (0℃→7℃→15℃)

温度帯	経過時間	センサー温度表示								断熱材内側
		保冷カーゴ外側				保冷カーゴ内部				
		外	スラ	ブ上	ブ中	内	スラ	ブ上	ブ中	
0℃	0.5	1	4	2.5	2.5	2	3	3	3	0.5
	1	1	2	2	2	1.5	2	3	2.5	0.5
	1.5	1.5	1.5	2	2	1.5	1.5	2.5	2.5	0.5
	2	2	2	2	2	1.5	1.5	2.5	2	1
	4	1	1	1	1	1.5	1	2	1.5	0.5
	8	1	1	1	1	1	0.5	1	1	0.5
7℃	0.5	0	3	2.5	1.5	1.5	1	1	1	2.5
	1	5.5	4.5	3	2.5	2	1.5	1.5	1	3
	1.5	5.5	5.5	4	3	3	2.5	2	1	3.5
	2	5.5	5.5	4.5	3.5	3.5	3	2	1.5	4
	4	6	6.5	5.5	5	5	4.5	3.5	3	5
	7	5.5	6	6	5.5	6	5.5	5	4.5	5
15℃	0.5	11	8.5	8	6.5	6	5.5	5.5	4.5	7
	1	11	10	8.5	7.5	7	6.5	5.5	5	8
	1.5	12	11.5	9.5	8.5	7.5	7	6	5.5	9
	2	11.5	12	10	9.5	8.5	8	6.5	6	9.5
	4	11.5	12	11.5	11.5	10.5	10	8.5	8	10.5
	8	11.5	12.5	12.5	12	11.5	11	10.5	10	11

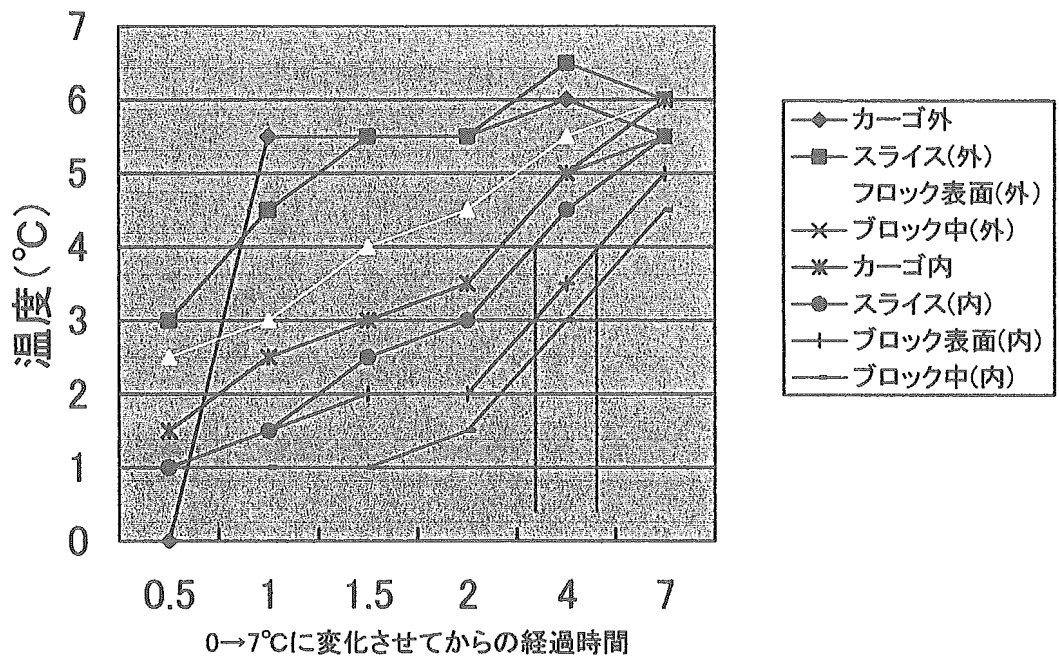


図 5 - 4 時間経過と食肉の温度変化

⑦→② (12℃→0℃→15℃)

温度帯	経過時間	センサー温度表示							
		保冷カーゴ外側				保冷カーゴ内部			
		外	スラ	ブ上	ブ中	内	スラ	ブ上	ブ中
12℃	0.5	—	9	5.5	4	—	10	6	5.5
	1	—	11	6.5	5.5	—	11.5	7	7
	1.5	—	11	6.5	5.5	—	11.5	7	7
	2	—	12.5	9	8	—	13	9.5	9.5
0℃	0.5	1	7	6	8	2	5.5	7.5	8.5
	1	1	4	5.5	6.5	1.5	3.5	6	7
	1.5	1	2.5	4.5	5.5	1	2.5	5	5.5
	2	1	1.5	3.5	4.5	1	2	4	5
	4	1.5	1	2	2.5	1	1	2	2.5
	8	1.5	1	1	1.5	1	1	1	1.5
15℃	0.5	10	6	4.5	2.5	2	2	1	1.5
	1	10	8.5	5.5	4	3.5	3	1.5	2
	1.5	11	10.5	7	5.5	5	4.5	2.5	2.5
	2	11	11.5	8	7	6	6	3.5	3.5
	4	11	12.5	10	10.5	9	9.5	6.5	7
	8	11	12	11.5	12	10.5	11	9.5	10

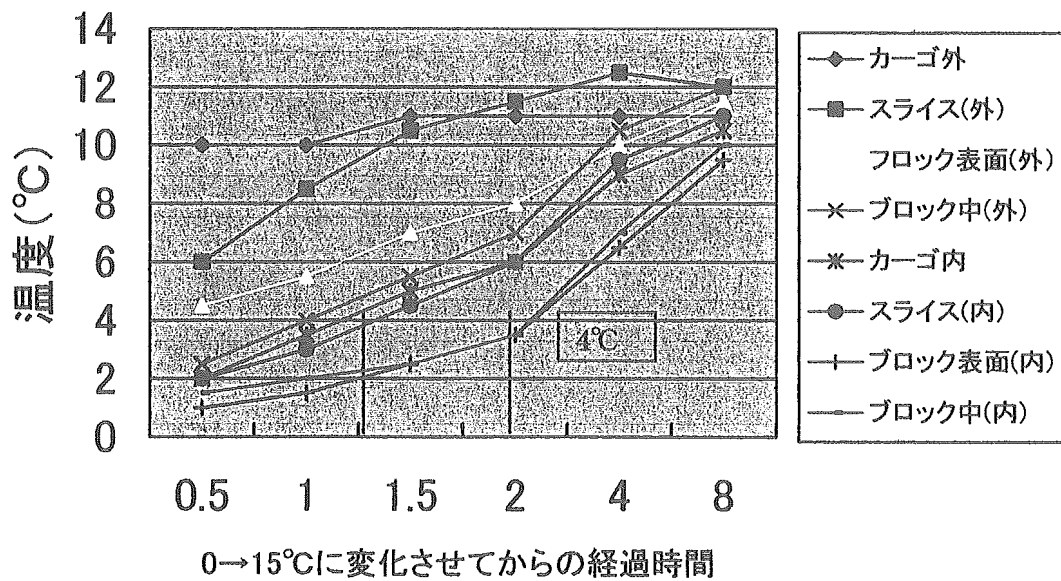


図5-5 時間経過と食肉の温度変化

③ (0°C→20°C)

温度帯	経過時間	センサー温度表示							
		保冷カーゴ外側				保冷カーゴ内部			
		外	スラ	ブ上	ブ中	内	スラ	ブ上	ブ中
0°C	0.5	0.5	2	3	3	2	3	2.5	3
	1	0.5	1.5	3	2.5	1.5	2	2.5	2.5
	1.5	1.5	1.5	3	2.5	1.5	1.5	2.5	2.5
	2	1.5	1.5	3	2.5	1.5	1.5	2	2.5
	4	0.5	0.5	2	1.5	1	1	1.5	2
	8	0.5	1	2	1.5	1	1	1	1.5
20°C	0.5	15.5	11.5	7	3.5	2	1.5	1.5	1.5
	1	16.5	15.5	9	5.5	4	3.5	2.5	2
	1.5	17	17.5	11	8	6	5.5	3.5	3
	2	17.5	18.5	12.5	10	8	8	5	4
	4	19	20	17	15.5	13.5	14	10	9.5
	8	18	20.5	20.5	19.5	17.5	18	16.5	16

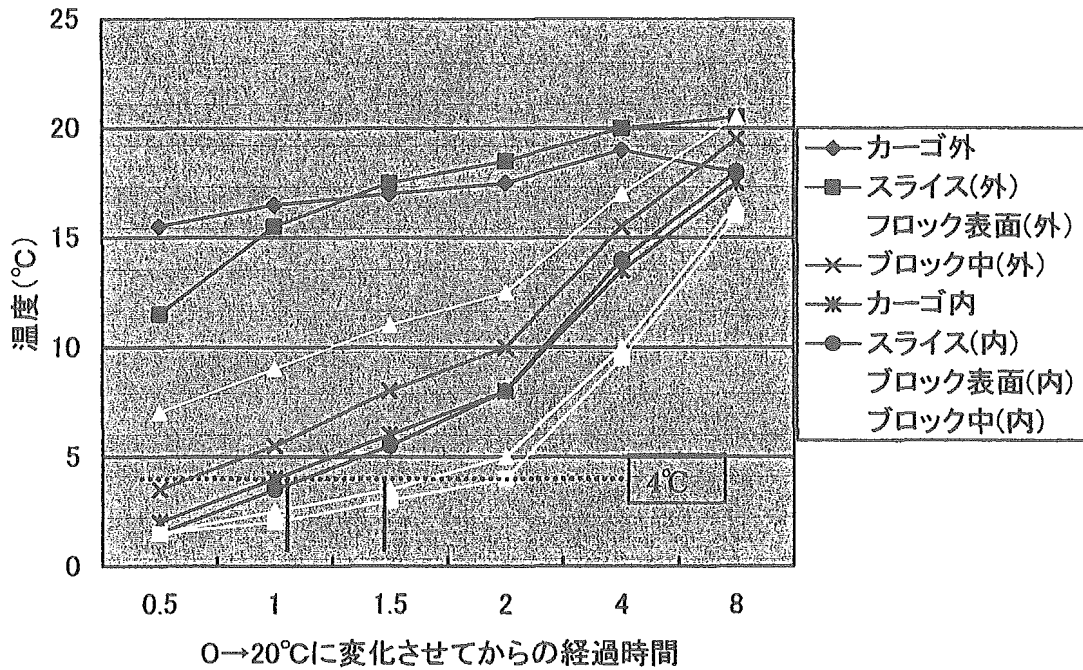


図5-6 時間経過と食肉の温度変化

⑥→⑤ (0℃→15℃→7℃→20℃)

温度帯	経過時間	センサー温度表示								断熱材内側
		保冷カーゴ外側				保冷カーゴ内部				
		外	スラ	ブ上	ブ中	内	スラ	ブ上	ブ中	
0℃	0.5	0.5	3.5	2.5	3	2	3.5	2.5	2.5	1
	1	0.5	2.5	2.5	2.5	1.5	2.5	2.5	2	1
	1.5	1	2.5	2.5	2.5	1.5	2	2	2	1
	2	1	2.5	2.5	2.5	1.5	1.5	2	2	1.5
	4	0.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1	1.5	1.5	1
	8	1	1.5	1.5	1.5	1	1	1	1	1.5
15℃	5分	5	3	2.5	1.5	1.5	1	1	1	2.5
	10分	7	3.5	3	1.5	1.5	1	1	1	3
	15分	8	4.5	3.5	2	1.5	1	1	1	4
	20分	9	5	4	2	1.5	1	1	1	4.5
	25分	9	6	4	2.5	1.5	1	1.5	1	4.5
	30分	9.5	6.5	4.5	3	2	1.5	1.5	1	5
7℃	0.5	5	6.5	4.5	4	3	2	2	1.5	4.5
	1	5	6.5	5	4.5	4	3	2	1.5	5
	1.5	5	6.5	5	5	4.5	3.5	2.5	2	5
	2	5.5	6.5	5.5	5	4.5	4	3	2.5	5
	4	5.5	6.5	6	6	5.5	5	4.5	4	5.5
	6	5.5	6.5	6	6	6	5.5	5	5	6
20℃	0.5	15.5	12	9.5	7.5	6.5	6	5.5	5	10.5
	1	16.5	15.5	11.5	10	8.5	7	6.5	5.5	12.5
	1.5	17.5	17.5	13	11.5	10.5	8.5	7.5	6.5	14
	2	18	19	14.5	13.5	12	10.5	8.5	7.5	15
	4	19	20.5	18	17.5	16	15	12.5	12	18
	8	19.5	20.5	20	20	18.5	18	17.5	17	19

5-5. 考察及び課題

日常配送業務で想定される温度変化をモデル化し、センター内で試験用商品を用いて環境温度変化に伴う商品温度の変化を測定する実証試験を実施した。

実証試験を実施した時期に寒波の襲来があり、センター内で想定していた温度帯における実際の温度が低かったため、急遽想定温度に近い場所を探すこととなった。しかし、当初の計画に近い温度の場所が確保できたため、ほぼ計画通りの実証試験を行なうことができた。また、各センサーも予定通り作動し、計画していた温度計測を実施できた。

本実証試験で課題となっていた、環境（空気）温度と商品温度の乖離については予測していたように、以下のパラメーターに左右されることが再確認された。

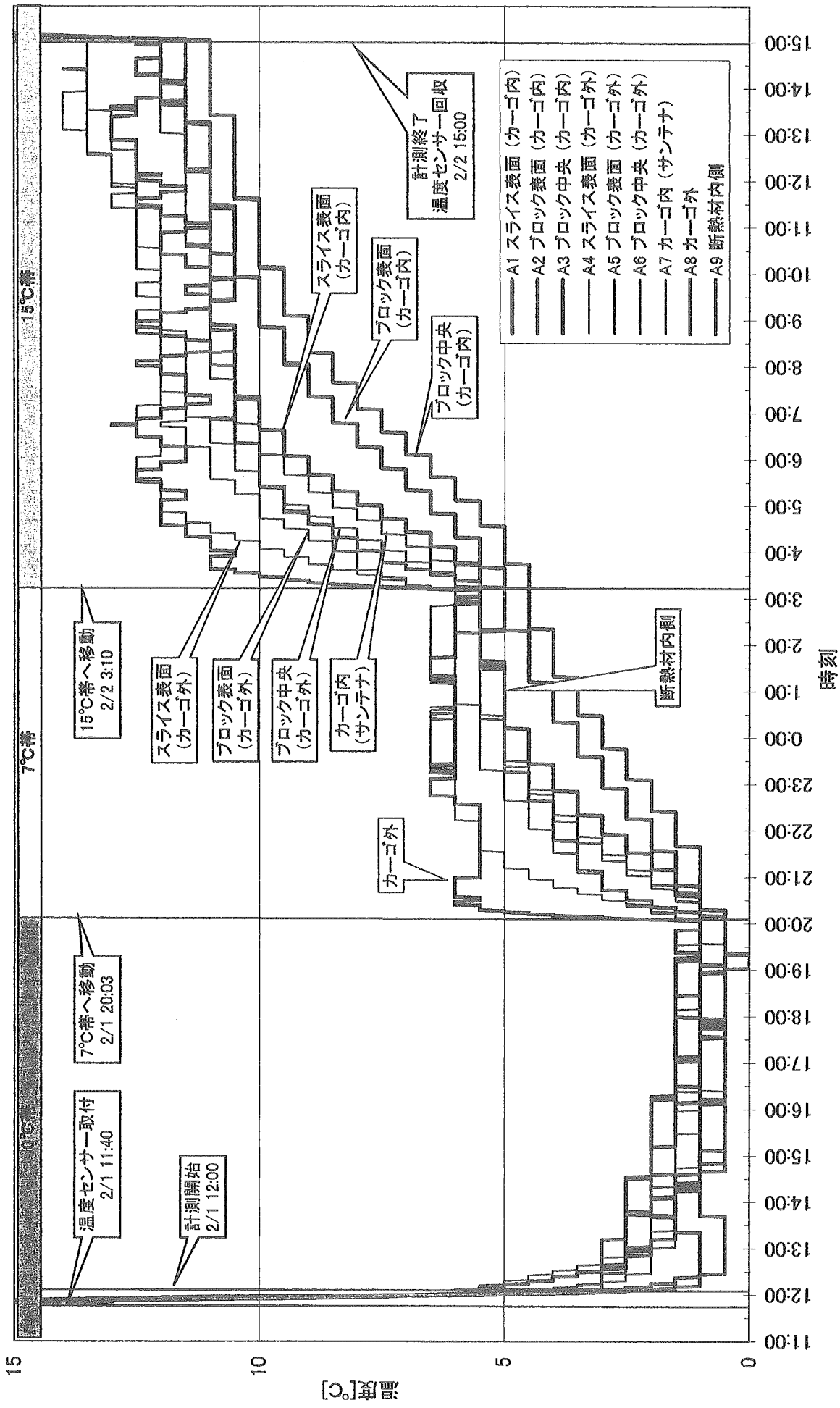
- ① 温度変化率（初期温度、最終温度）
- ② 肉の容量（ブロック肉、スライス肉）
- ③ 断熱材の有無（保冷カーゴ内外）

例えば、0℃から7℃へ環境温度を変化させた場合、保冷カーゴなしの条件でスライス肉の温度は1時間経たないうちに4℃を超えていたが、同じ条件でブロック肉の表面温度は1.5時間まで4℃以下の温度を保つことができた。一方、このとき保冷カーゴ内に保管している肉の温度変化を見ると、スライス肉でも3時間近く4℃以下の温度を保つことができ、ブロック肉表面温度については4時間20分の間4℃以下であった。このことから、保冷カーゴによる断熱効果を確認することができた。

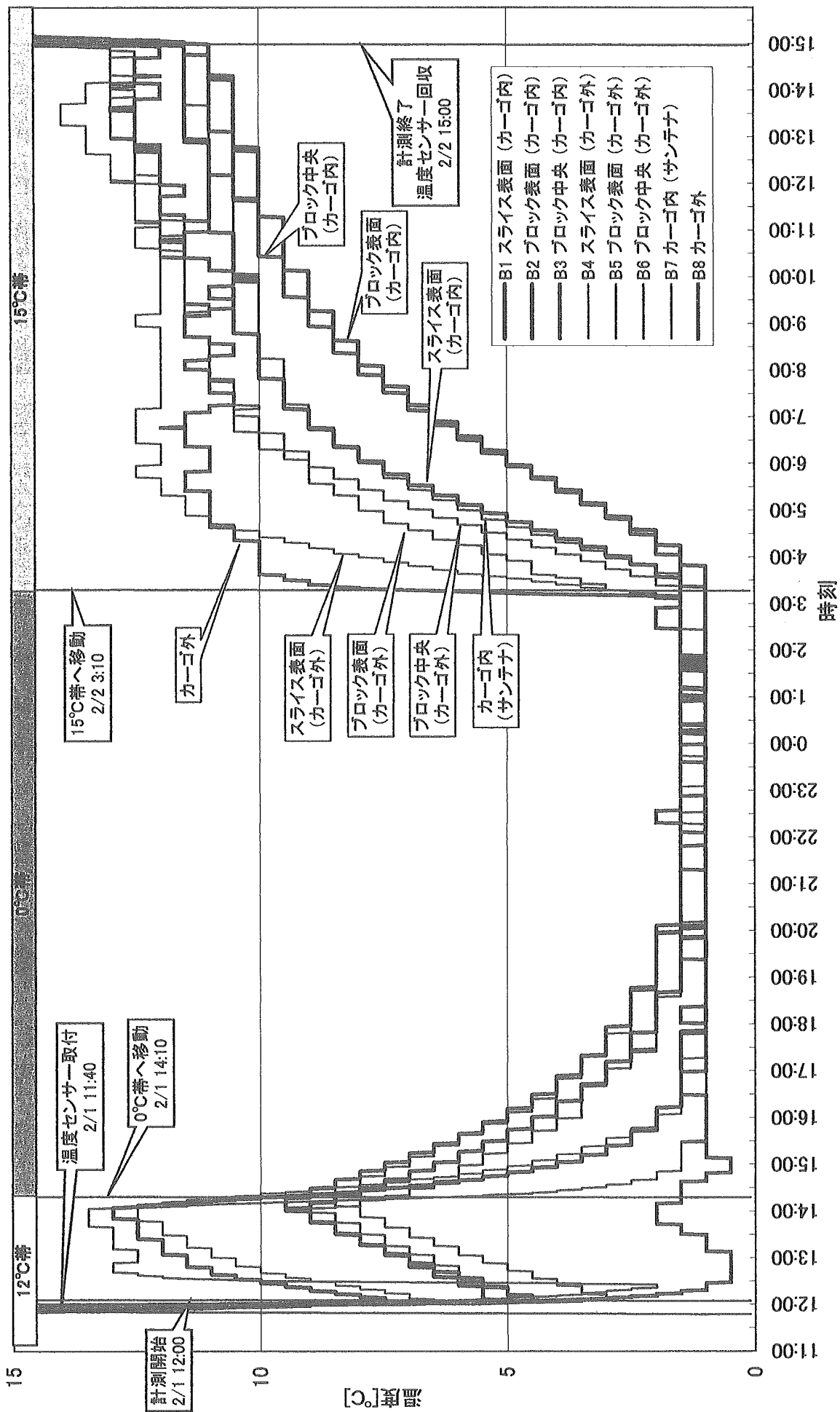
0℃から15℃への環境温度変化の場合、商品の温度上昇はより速くなり、保冷カーゴを用いないときスライス肉の温度は15分後には4℃を超え、ブロック肉表面温度においても23分後に4℃を超えてしまった。一方、保冷カーゴ内に保管した場合、4℃以下の温度を保てた時間はスライス肉、ブロック肉それぞれ1時間10分と2時間15分であった。

0℃から20℃への温度変化は、消費者が冷蔵ショーケースから商品を取り出し、買い物籠に入れて店内を回っている状況と同じと考えられる。この場合、保冷カーゴ外の商品の温度変化は非常に急激で、スライス肉、ブロック肉ともに数分で表面温度が4℃を超えていた。保冷カーゴ内の商品も4℃以下を保てたのは、スライス肉で1時間、ブロック肉で1.5時間であった。この結果から、流通段階において厳密に温度管理を行なうことはもちろんであるが、消費者が冷蔵ショーケースから取り出し自宅の冷蔵庫に保管するまでの温度管理が一番問題となることが明らかとなった。

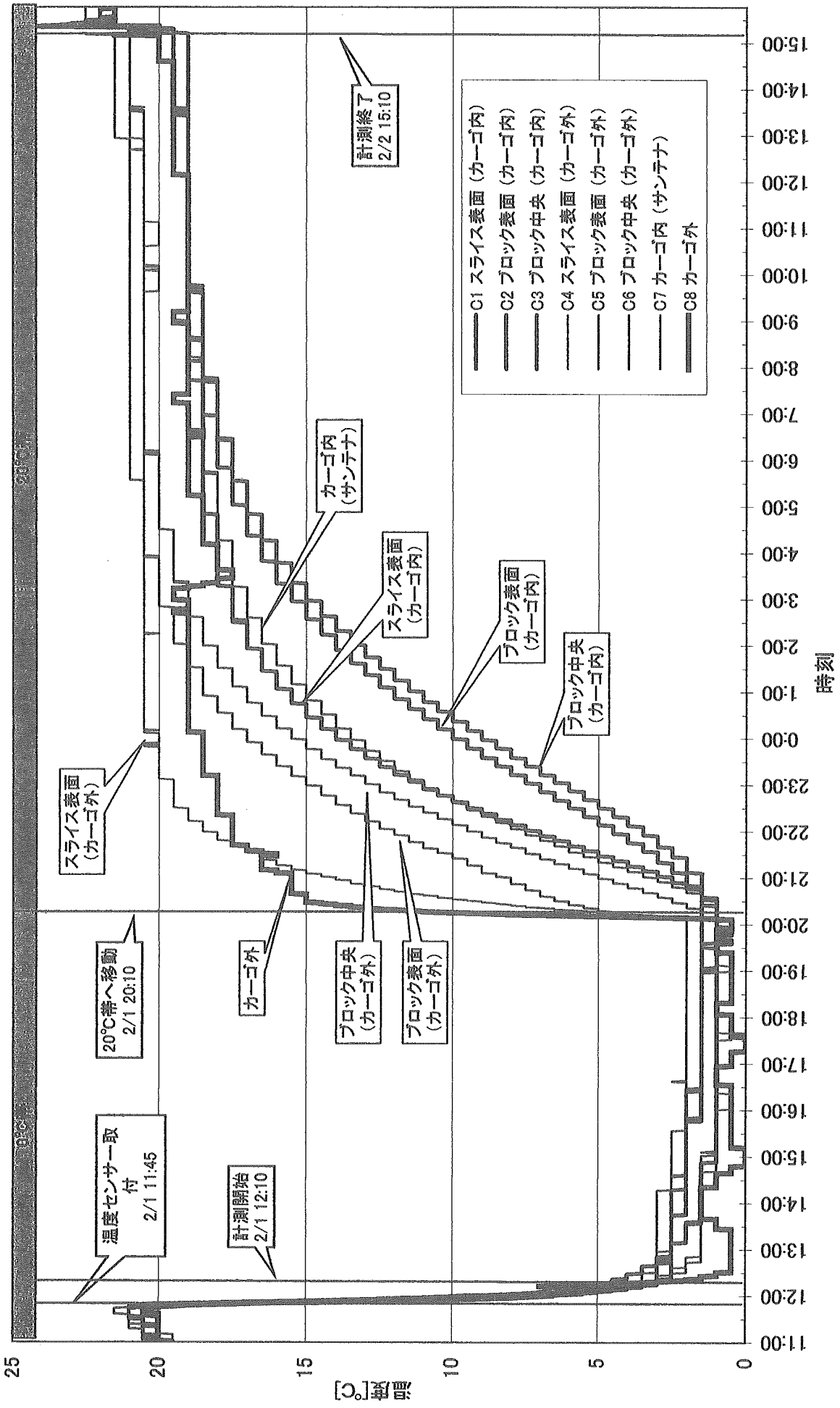
パターン①→④(0°C→7°C→15°C)

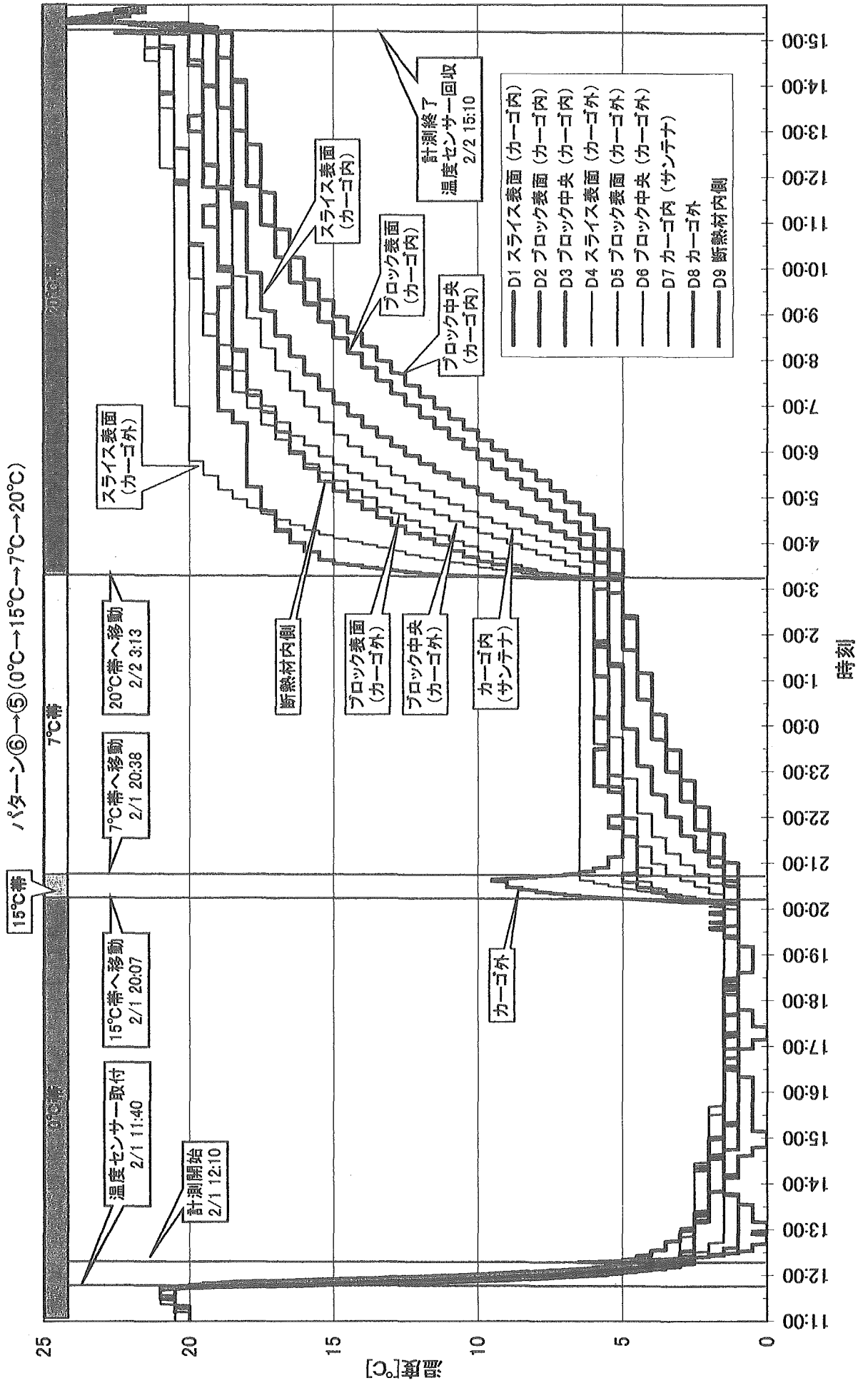


パターン⑦→②(12°C→0°C→15°C)



パターン③(0°C→20°C)





6. 商品設置場所温度の変化による商品温度変化のシミュレーション

概要

外部環境温度が変わった場合の食肉内温度を推定するために、測定データを基にしてブロック肉の熱物性値を推定した。そして、これを使用して温度帯移動による食肉の温度変化を、伝熱解析によりシミュレーションした。

6-1. パラメータの解析

1) 使用した測定データ

第1ステップでおこなった熱物性値の推定のために使用した測定データを表 6.1 に示す(添付資料1参照)。いずれのデータもカーゴ外部に置かれたブロック肉の測定結果を使用した。なお、Case C はブロック肉厚が不確かなため除いた。

表 6.1 測定データ一覧

ケースNo.	初期温度 T0(°C)	移動後温度 Tf(°C)	肉厚 (mm)	備 考
CaseA-1	1	6.5	40	2月1日20:03~2月2日3:00のA5, A6データ
CaseA-2	5.5	12.5	40	2月2日3:10~のA5, A6データ
CaseB	1.5	12	35	2月2日3:10~のB5, B6データ
CaseD	6	20.5	30	2月2日3:10~のD5, D6データ

2) 形状モデル

表 6.2、図 6.1 に牛肉ブロックの寸法形状を示す。また図 6.2 にメッシュ図を示す。肉厚方向には10分割している。

表 6.2 ケース毎の牛肉ブロックの寸法

ケースNo.	長辺L (mm)	短辺W (mm)	肉厚t (mm)
CaseA	120	60	40
CaseB	130	70	35
CaseD	160	70	30

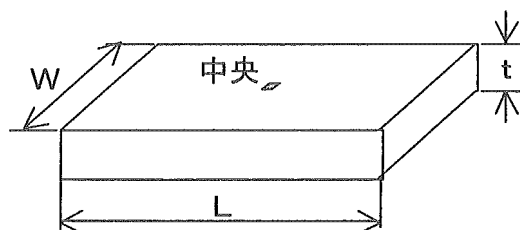


図 6.1 牛肉ブロックの形状

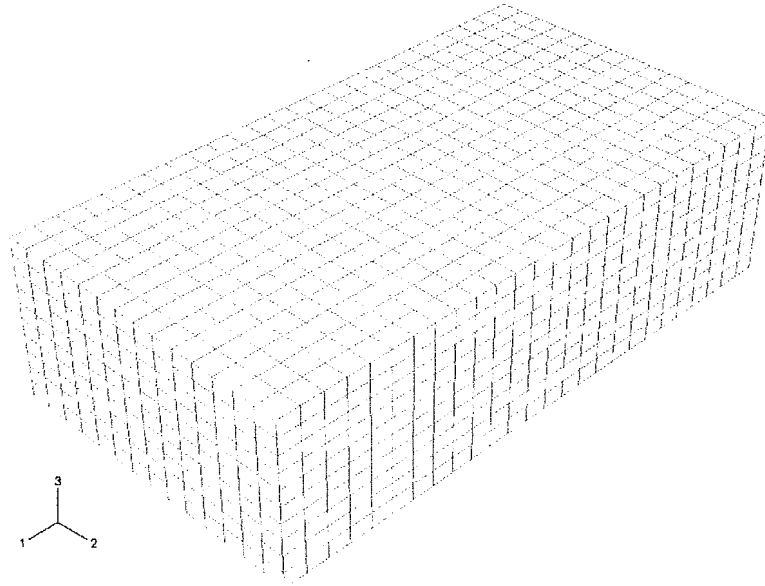


図 6.2 メッシュ図(Case B 130×70×35mm)

3) 解析モデル

- ・ 3次元非定常熱伝導解析をおこなった。
- ・ コンピュータソフトは汎用の ABAQUS Ver. 6.4 を使用した。
- ・ 計算内容

温度計算には熱物性値(熱伝導率、比熱、密度)が必要であるが、添付資料 2 に示す程度のデータしか見つけ出せなかった。この物性値を使い、測定データのシミュレーション計算をしてみたが、後述するようにあまり一致しないケースがあった。

そこで、第 1 ステップとして熱物性値を合わせ込むため、以下のように温度計算を行った。カーゴ外部に置かれたブロック肉の温度履歴調査データに合致するように、熱物性値を試行錯誤的に変化させ、3次元温度計算を行った。なお、密度は 1100kg/m^3 と仮定した。

第 2 ステップでは、合わせ込まれた熱物性値を用いて異なる温度帯に移動した場合のブロック肉の温度変化を推定してみた。ただし、今回はカーゴ外に置かれた場合のシミュレーションである。

- ・ 境界条件

温度解析に使用した境界条件を図 6.3 に示す。ブロック肉の底面は断熱(熱流束なし)と仮定した。その他の面は図示したように、対流伝熱と輻射伝熱を考慮した。なお、ブロック肉周りの温度帯は表 6.1 に示した温度 T_f とした。また、初期温度は同表記載の温度 T_0 を使用した。

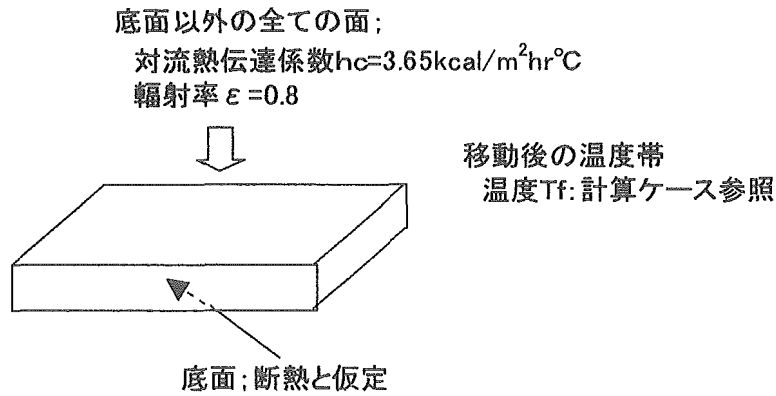


図 6.3 境界条件図

4) 計算結果

表 6.1 に示した測定データケースに対して、まず 3 次元計算で熱物性値の合わせ込みをおこなった。その結果を表 6.3 に示す。また、温度測定値と計算値の比較を図 6.4～図 6.7 に示す。

表 6.3 熱物性値の合わせ込み結果

ケースNo.	熱伝導率 kcal/mhr $^\circ\text{C}$	比熱 kcal/kg $^\circ\text{C}$
CaseA-1	0.4	0.85
CaseA-2	0.42	0.75
CaseB	0.45	0.75
CaseD	0.4	0.85
平均	0.42	0.80

注) 密度は 1100 kg/m^3 とした

当初、肉厚方向 1 次元計算で熱物性値の合わせ込みをおこなった。しかし、3 次元形状効果が大きいことが分かったため、途中から 3 次元計算で合わせ込みを行うこととした。合わせ込みで得られた熱伝導率は $0.42 \text{ kcal/mhr}^\circ\text{C}$ (平均値)、比熱は $0.8 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$ (平均値) であった。熱伝導率は探したデータとほぼ同じであったが、比熱は探したデータよりも大きくしたほうが温度測定データにより近似した。

牛肉ブロックの温度分布を Case B を例にとって図 6.8～図 6.12 に示す。なお、温度出力位置を図 6.14 に示す。肉厚方向に層状となる 1 次元的な温度分布になっていない。ブロックのコーナー部の温度上昇が大きい。反対にブロックの底部中央あたりの温度上昇が遅い。

前述の合わせ込みで得られた熱物性値(平均値)を使用して、温度帯を移動した場合の牛肉ブロックの温度変化をシミュレーションしてみた。表 6.4 の計算ケース表に示すように、牛肉ブロックの初期温度 T_0 (最初の温度帯温度 0°C と 5°C) と移動後の温度帯の温度 T_f を変えた。なお、牛肉ブロックの寸法は中間的な寸法であった Case B ($130 \times 70 \times 35\text{mm}$) と同じにした。

表 6.4 計算ケース表

ケース No.	初期温度 T_0 ($^{\circ}\text{C}$)	移動後の温度 T_f ($^{\circ}\text{C}$)
1	0	5
2	0	10
3	0	15
4	0	20
5	0	25
6	0	30
7	5	10
8	5	15
9	5	20
10	5	25
11	5	30

計算結果を図 6.15～図 6.22 に示す。このシミュレーション計算は牛肉ブロックをカーゴ外に置いた場合である。従って、移動後の温度環境が高いと表面部は短い時間で温度上昇してしまう。