

節電対策とヒートアイランド対策

(独)産業技術総合研究所
安全科学研究部門
素材エネルギー研究グループ
玄地 裕



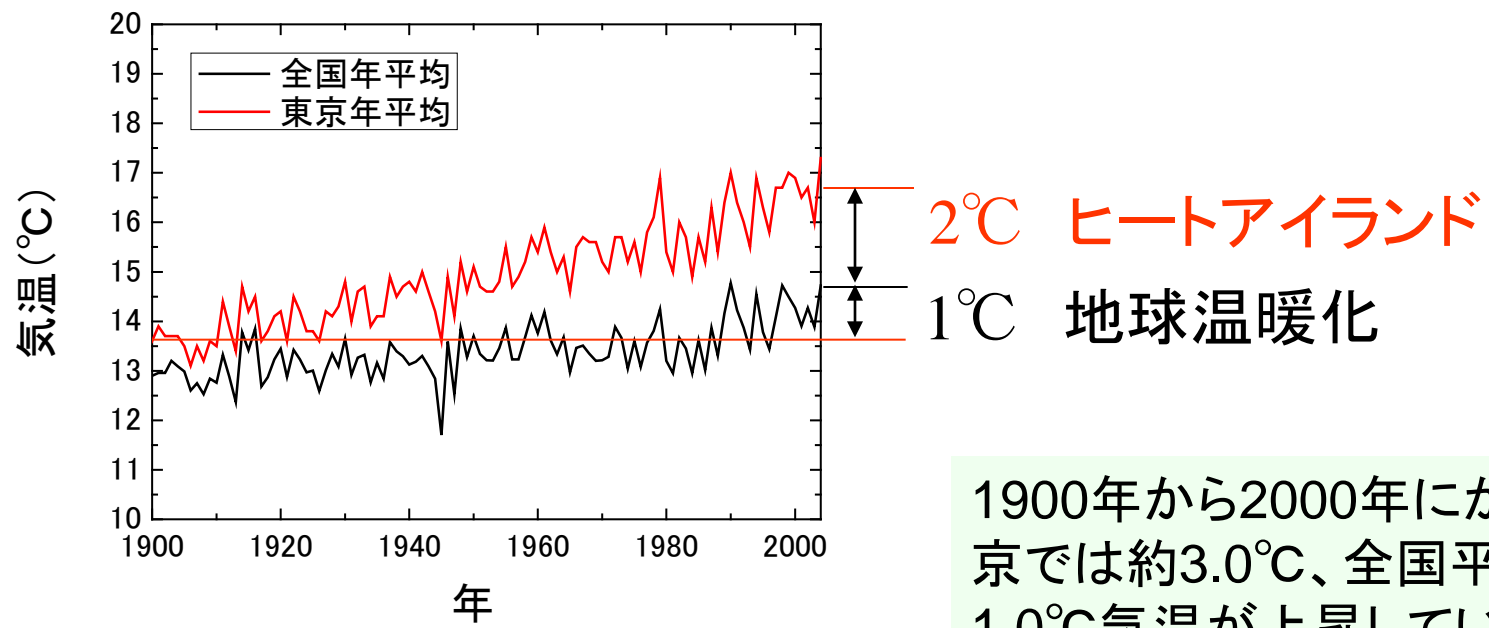
独立行政法人
産業技術総合研究所
安全科学研究部門



y.genchi@aist.go.jp

<http://aist-riss.jp>

昔に比べてどのくらい気温が上がったのか



東京年平均気温と全国平均気温の比較
過去100年の東京と、気象庁が日本の年平均気温を算出するのに用いている全国17ヶ所の気温を平均した年平均気温の推移(アメダスデータを元に作成)

1900年から2000年にかけて、東京では約3.0°C、全国平均では約1.0°C気温が上昇している
(新ヒートアイランド対策大綱では、2013年までで3.3°C上昇)

ヒートアイランド 現象から問題へ

19世紀(ロンドン) 既に都市部の気温が郊外よりも高い現象が観測される

1970年代～ **熱汚染** 地学、気象学、建築学(**冬**に顕著な現象)
メソスケール気象モデル

1990年代半ば **ピーク電力** + エネルギー分野(**夏**が問題になってきた)
都市キャノピーモデル(街区の形を考慮)

2000年代～ **多様な環境問題**(生物、**ヒト健康**、集中豪雨etc) 境界領域
CFD、都市キャノピービルエネルギー連成モデル

世界の状況:

夏のヒートアイランドが問題になっていたのは先進国で日本のみ

→ 2003年、2007年のヨーロッパ諸国での「熱波」以降、夏も課題に

国内の対応

(http://www.env.go.jp/air/life/heat_island/index.htmlより)

H14年3月 「規制改革推進3か年計画(改定)」 閣議決定

- ①関係各省からなる総合対策会議を設置するなど総合的な推進体制構築
- ②ヒートアイランド現象の解消対策に係る大綱の策定について検討し結論を出す

H16年3月 ヒートアイランド対策大綱 ヒートアイランド対策関係府省連絡会議

H19～21年 クールシティ中枢街区中核事業

H21年3月 ヒートアイランド対策ガイドライン 環境省

H24年3月 ヒートアイランド対策マニュアル 環境省

H24年5月 ヒートアイランド対策推進会議

(国交省、環境省で新大綱を7月公表予定)

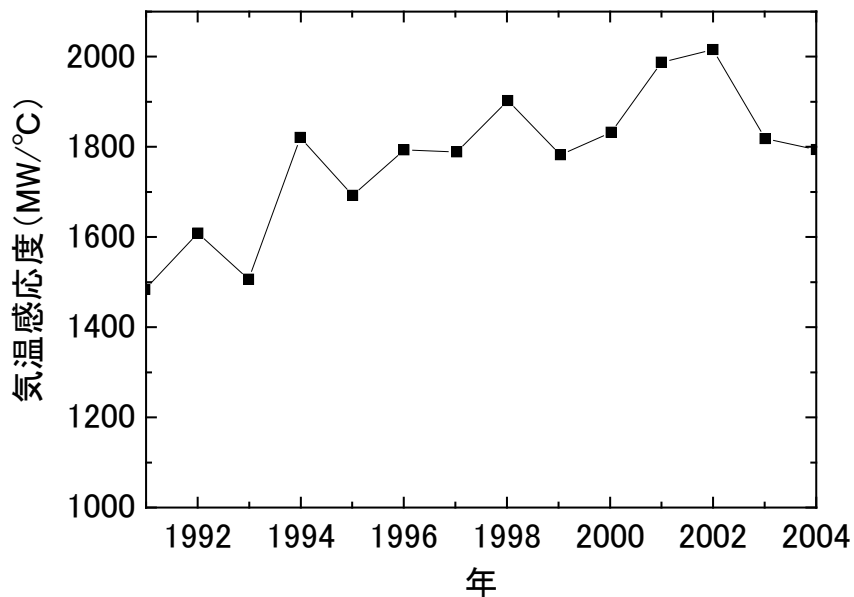
ヒートアイランドの環境への影響(インパクト)

定量化(1°Cあたりのインパクト増加量)されている部分は少ない

項目	現状把握(研究機関、報告書)	対策評価	備考
気温(昼)	気象庁、首都大学東京	←	2.6°C/100年
熱帯夜	気象庁、首都大学東京	環境省、 AIST	50日以上/年
エネルギー消費	AIST、阪大、電中研、省エネセンター、環境省報告書	←	気温感応度 200万kW/°C
熱中症	消防庁、環境省報告書	未	
集中豪雨	首都大学東京、防衛大学	未	練馬周辺
経済	気象庁、みずほ情報総研、電通	アンサンブル 予報	天候デリバティブ
生態影響	立正大学、地理学会	未	桜の開花日、 昆虫
睡眠障害、疲労	AIST、大阪市大、横国大	AIST(途上)	東京、大阪対象

気温感応度

→ 日最高気温が1°C上昇したときの電力需要(kW)の増加量



矢部の報告によると、東京電力では、2002年には200万kW/°Cを超えていた。

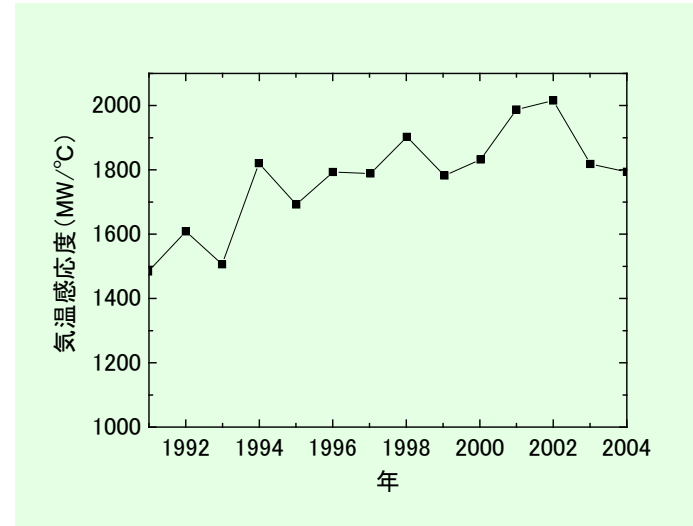
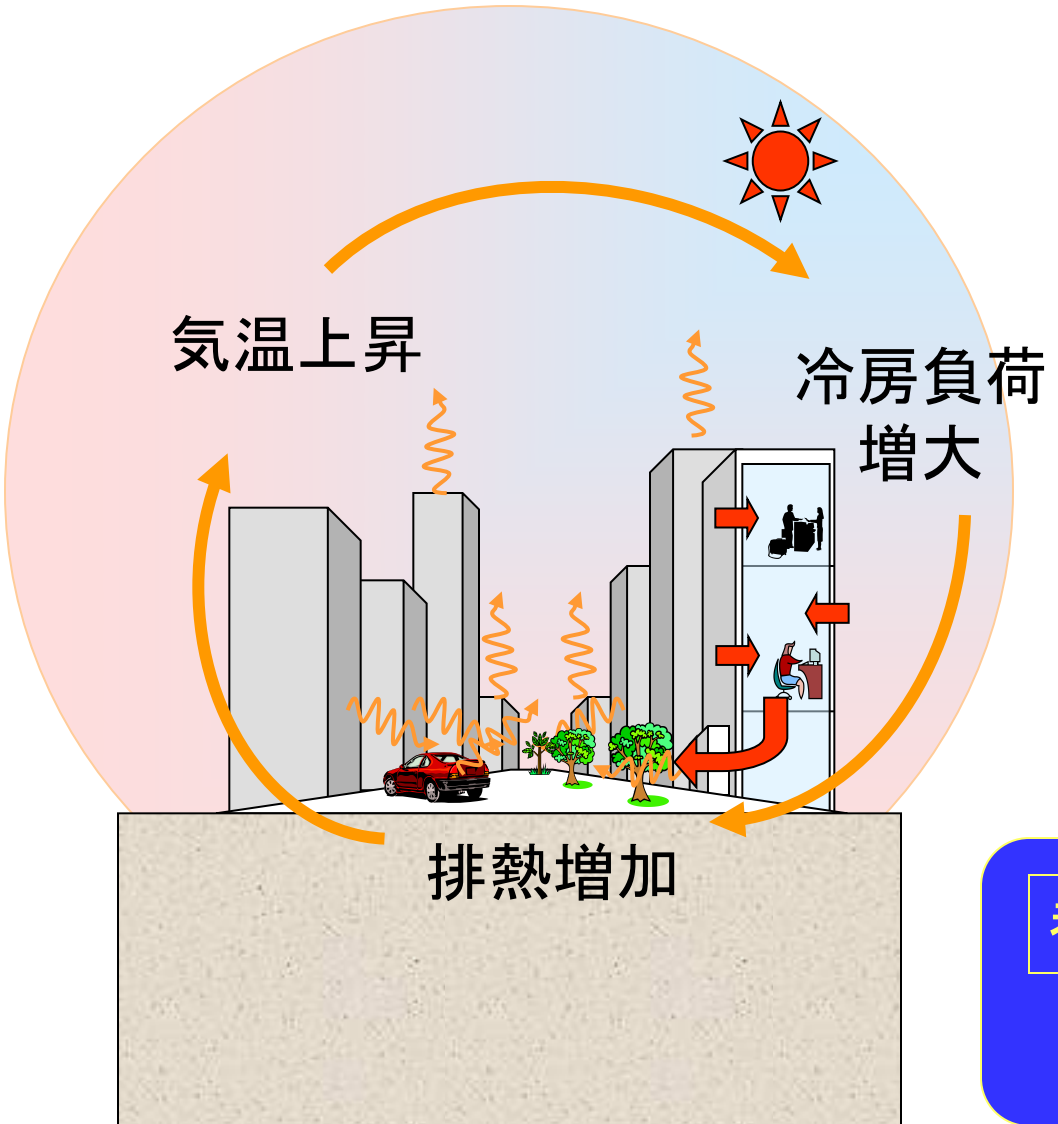
現状でも、160～170万kW/°C程度

夏の最大電力需要が約6000万kW
なので約3%程度の変動

図 気温感応度の推移

矢部邦明、長期最大電力予測のための省エネの評価、
 平成17年電気学会全国大会、6-045、徳島、(2005)
 より発表者がグラフを作成

大都市における夏季熱環境 ⇔ エネルギー消費悪循環



夏季ピーク電力消費(東京電力)の気温感応度



1°C最高気温上昇で1.6GW増加

都市熱環境改善

↳

民生部門省エネルギー

エネルギー消費から冷房廃熱へ

冷房電力消費と効率から廃熱量が計算できる

ヒートポンプ冷房を例にすると

$$\text{効率} = \frac{Q_{in}}{W} \doteq 3$$

$$Q_{out} = W + Q_{in}$$

$Q_{in} = \text{日射} + \text{換気等負荷} + \text{OA} + \text{人}$

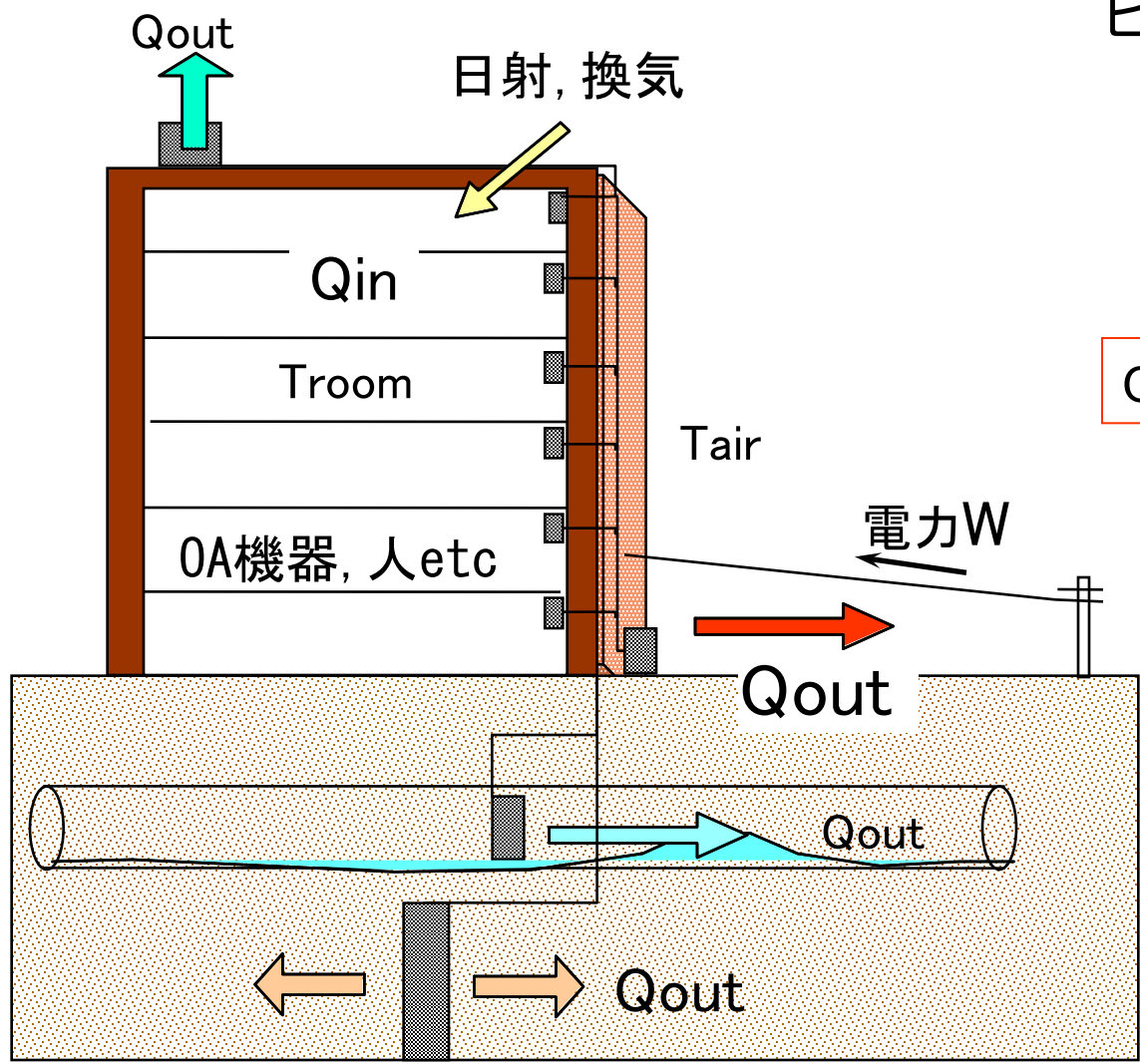
を電力Wで汲み出す。



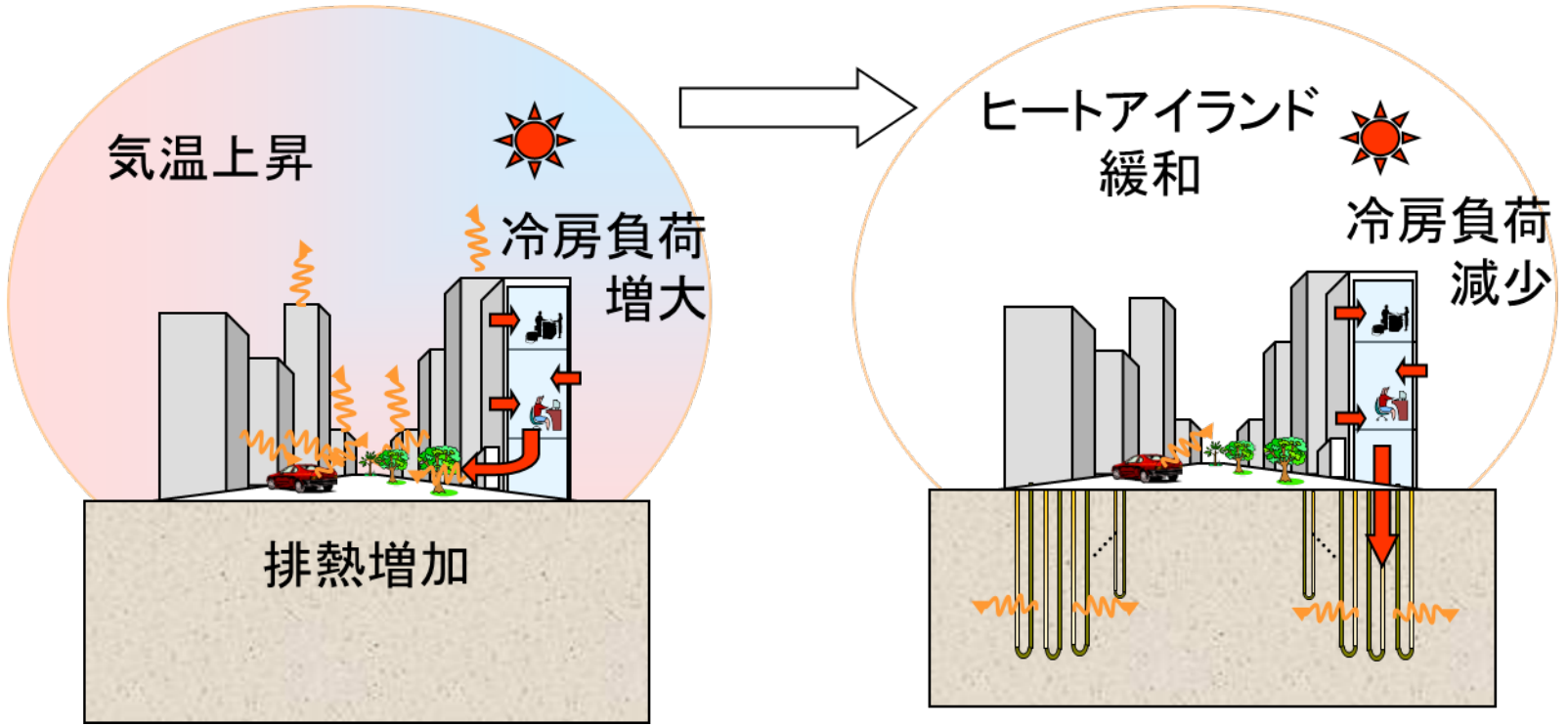
冷房排熱 Q_{out} が空気に排出される

冷房の効率は原理的に以下に比例する

$$\frac{T_{room}}{T_{air} - T_{room}}$$

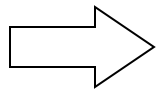


ヒートポンプ冷房を利用したヒートアイランド対策



冷房排熱 Q_{out} を空気以外の媒体で処理 = ヒートシンク対策

現状と比較して
車以外の全エネルギー消費
日射の一部
が系から除去される



建物が熱を吸う働きをすること
からエネルギー消費が大きく
建物の多いエネルギー消費の
多い都心向き対策

東京都23区での夏季冷房排熱量(推定量)

一日の23区の排熱量は、エネルギー消費原単位、
電気ガス冷房機器構成を考慮 → $1.1 \times 10^9 \text{MJ/日}$

冷房期間100日として総排熱量 → $1.1 \times 10^{11} \text{MJ/日}$

これは一体どのくらいの熱量なのか??

上下水、海水 ← 一日の排熱量を与える(顕熱、潜熱)

土 ← 冷房期間100日の総排熱量を与える

空気以外の媒体容量についてのまとめ

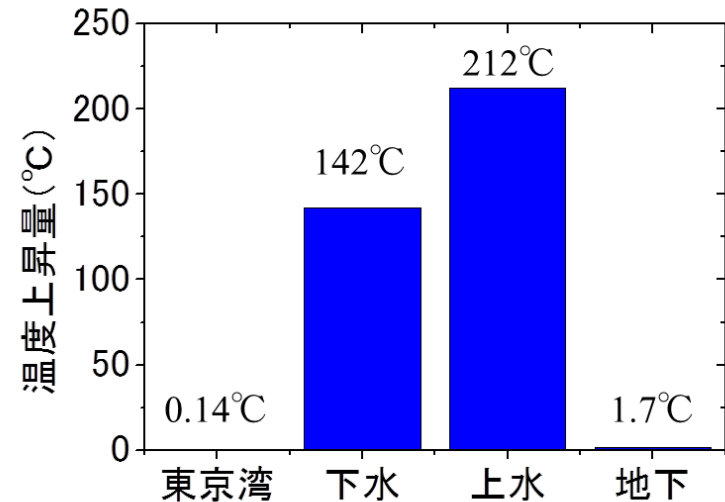
結論：地下か海が利用可能

顕熱処理:

冷房期間終了時の温度上昇:

地下30mまで利用 土1.7°Cにすぎない

上下水では100°C以上上昇、全く容量が足りない



潜熱処理:

下水の27%、上水の40%相当を毎日蒸発させる必要あり。
夏の水不足が懸念される現在、中水道で水を確保する必要
湿度上昇の可能性

土:

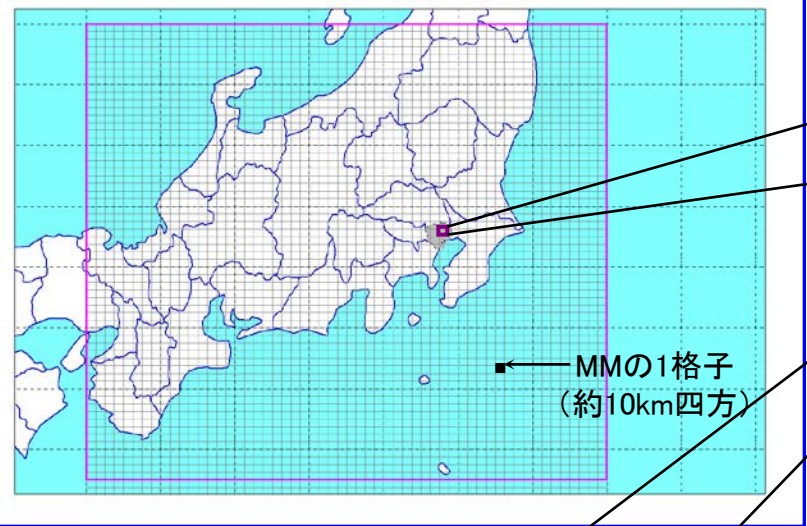
土の温度の日変化 地表面から0.4m

冷房期間100日間の変化 地表面から4m

地下4m以下に排熱すれば冷房期間中に熱が出てくることはない。

効果検討するために開発した産総研モデルの概要

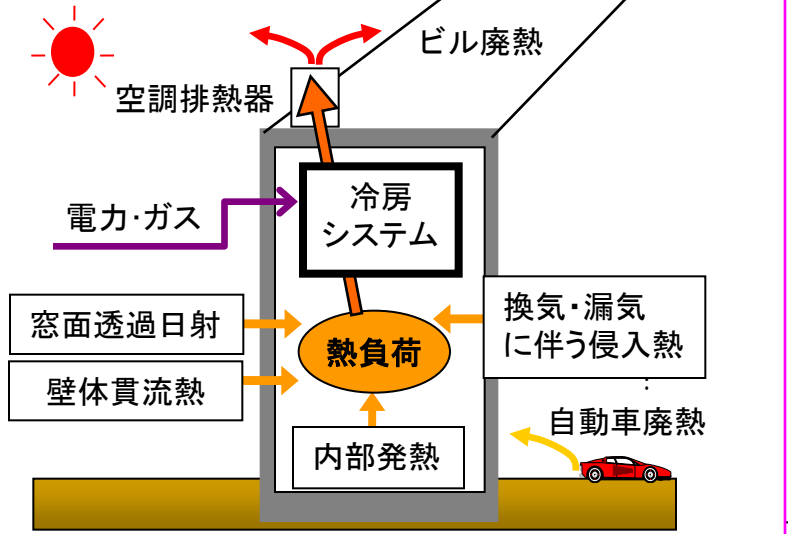
メソスケール気象モデル (MM)



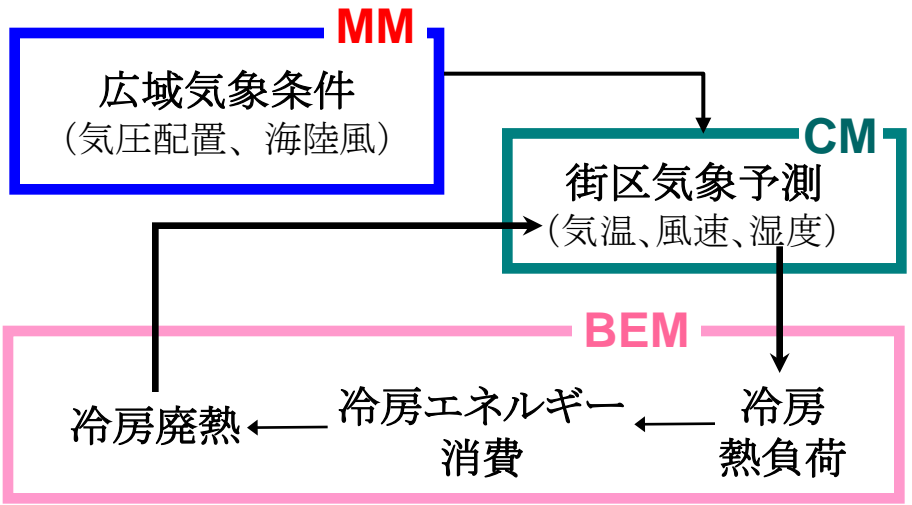
都市キャンपीー気象モデル (CM)



ビルエネルギー・廃熱解析モデル (BEM)

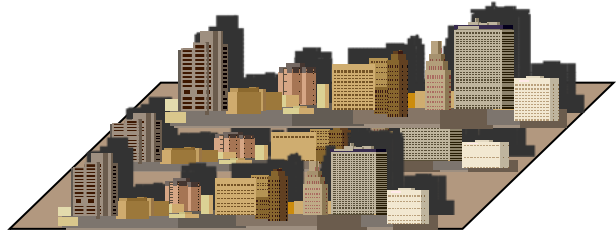


廃熱位置の違いが検討できるモデル

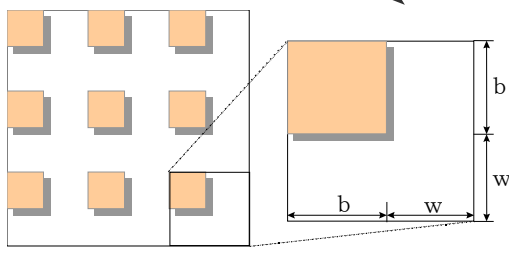


キャンपीモデルの概要

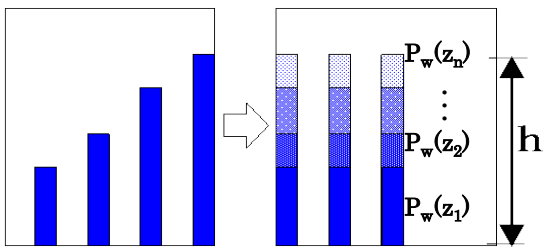
CM : 都市キャンピーにおける気温、湿度、風速の時間変動を、建物による力学抵抗や人工廃熱源の分布等を考慮し計算可能な鉛直1次元モデル
(計算負荷軽減のため街区構造は統計的に扱う)



街区構造のモデル化(鉛直1次元)



街区模型—水平断面
(格子状街区)
 $b(m)$:平均ビル幅、 $w(m)$:平均道路幅



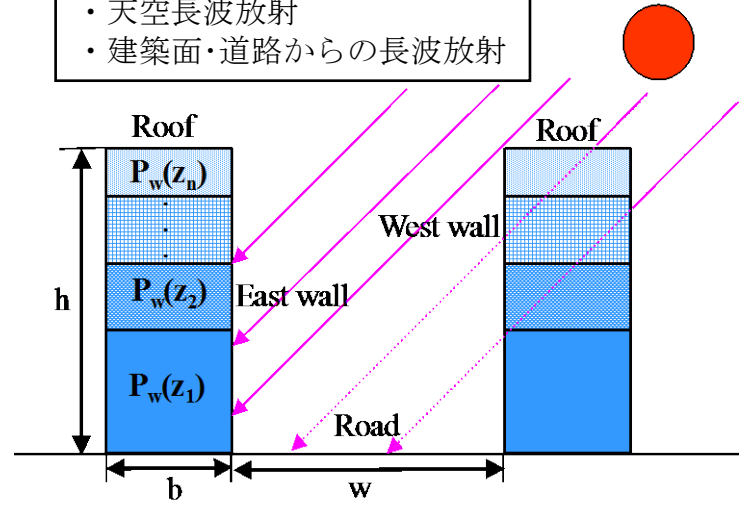
街区模型—鉛直断面
(鉛直分布密度を有する模型ビル群)
 $P_w(z)$:高度 Z におけるビルの存在割合

CM街区模型の概念図

CM基礎方程式

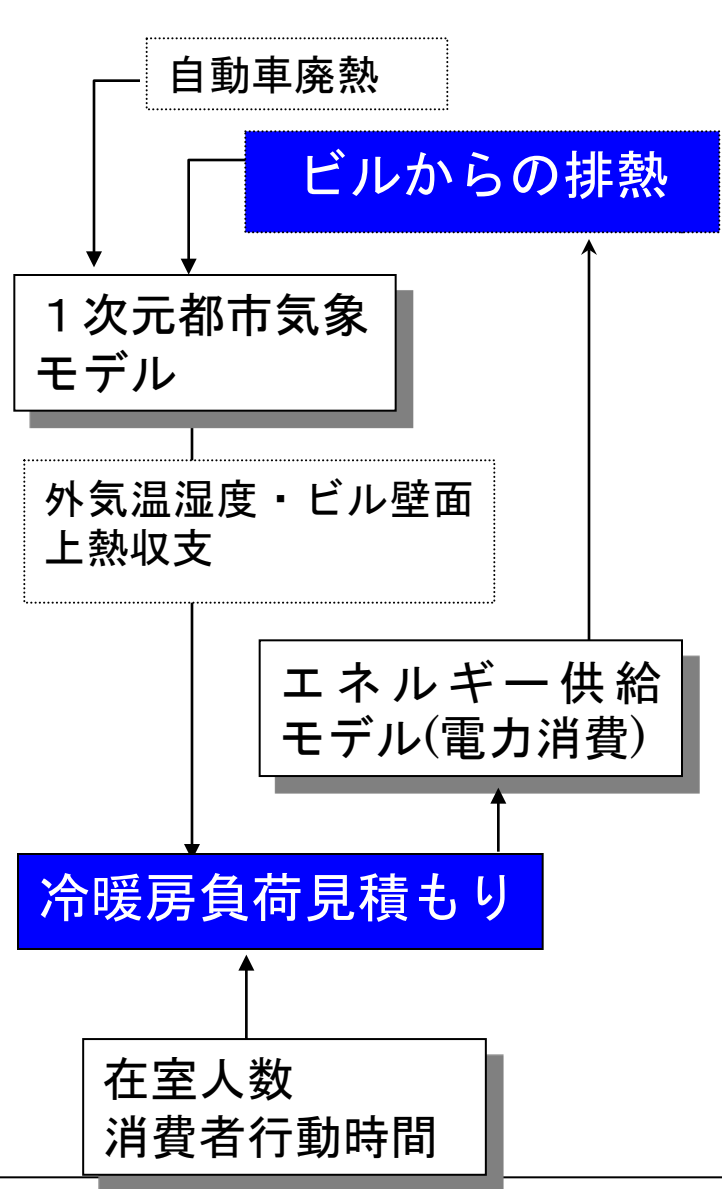
- <大気層モデル>
- ・キャンピー内の乱流渦抵抗を考慮した鉛直1次元の運動量保存式
 - ・温位と比湿の鉛直1次元乱流拡散方程式 (熱源項において人工廃熱を考慮)
- <表面熱収支モデル>
- ・地表・建物面からの熱フラックスを算出
 - ・各面について3種類の被覆を想定可能

- <放射計算で考慮する要素>
- ・直達短波光
 - ・散乱短波光
 - ・短波光の一次反射
 - ・天空長波放射
 - ・建築面・道路からの長波放射

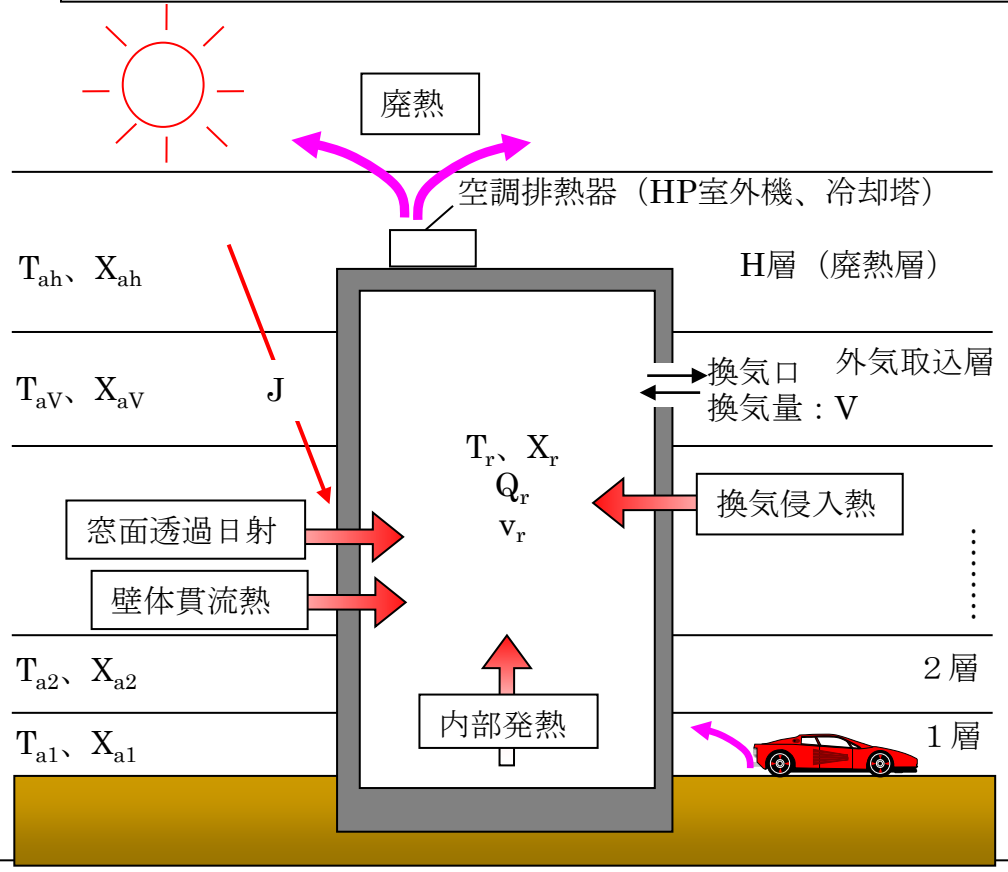


CM上での放射モデルの概念図

都市キャノピー・ビルエネルギー連成モデル



- 需要側対策:**
- 壁、屋上の断熱(熱伝導率、断熱材位置)
 - 表面材質(屋上緑化、保湿性建材、太陽電池)
 - 表面反射率
 - 空調排熱位置、方法



◆ 節電対策 (目標: 最大電力需要を15%削減)

■ 基準シナリオ

■ 計画停電

■ 節電対策

1. 窓日射遮蔽

2. 通風換気

3-1. 空調の目標室温の変更 (→ 28 °C)

3-2. 空調設定温度+2°Cup(家庭24°C→26°C、業務26°C→28°C)

4. 1+2+3

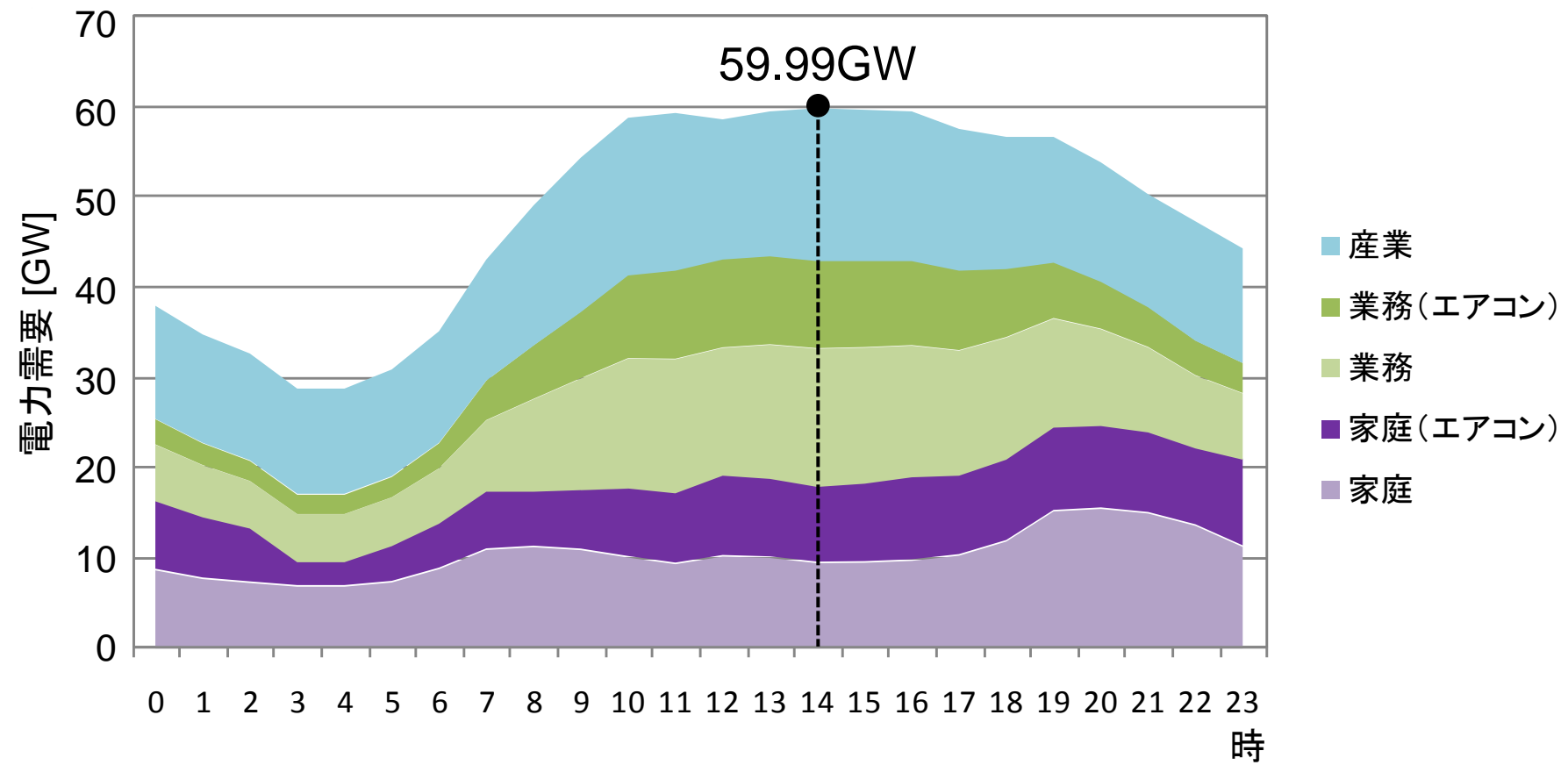
8. 打ち水

10-1. 生活時間のシフト(サマータイム)

10-3。7+5

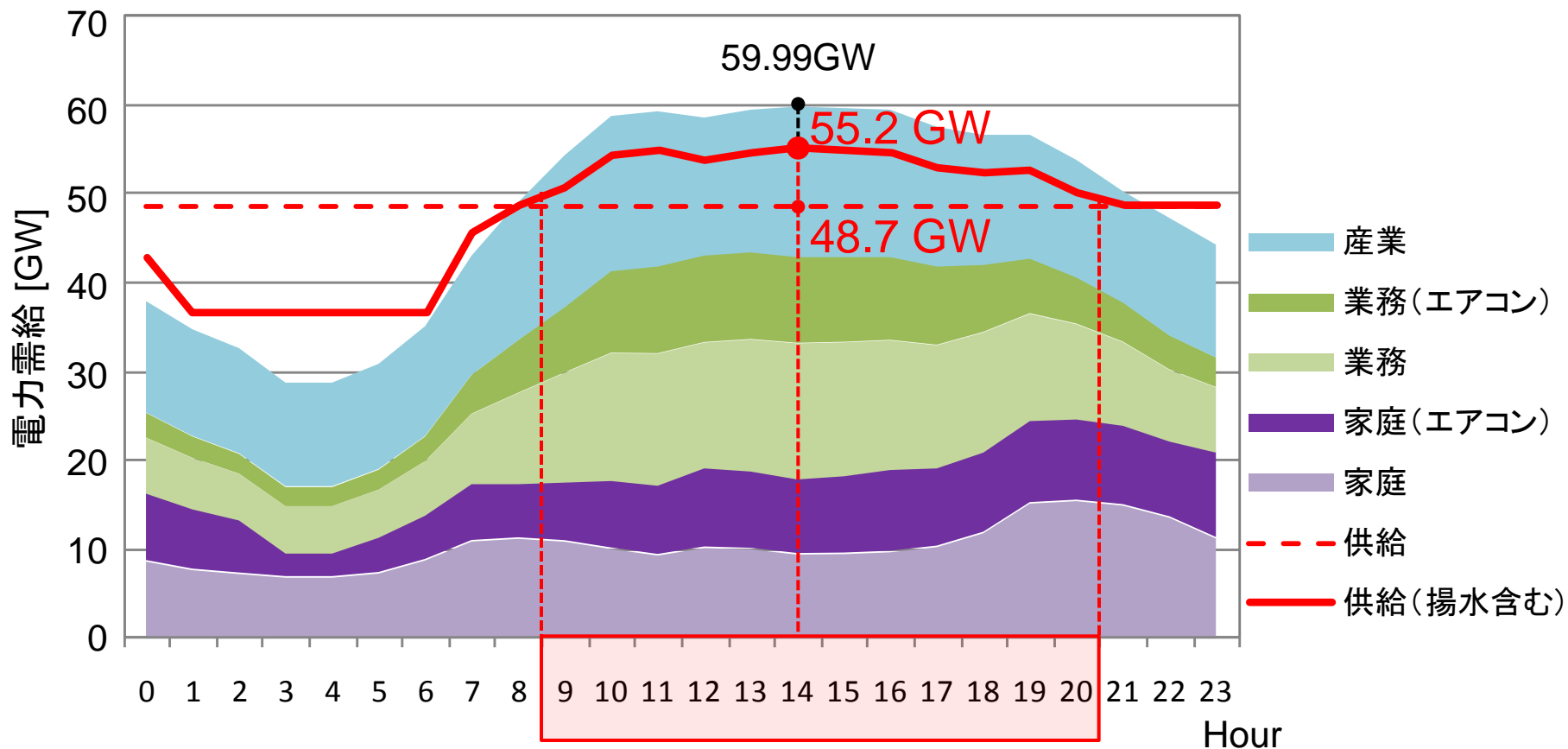
12. 震災後想定(ベース15%節電 窓日射遮蔽と通風換気(実施率80%))

◆東京電力管内における需要カーブ(推定)



資源エネルギー庁「夏期最大電力使用日の需要構造推計
 (東京電力管内)より井原智彦作成
<http://www.meti.go.jp/setsuden/20110513taisaku/16.pdf>

◆推定最大電力供給

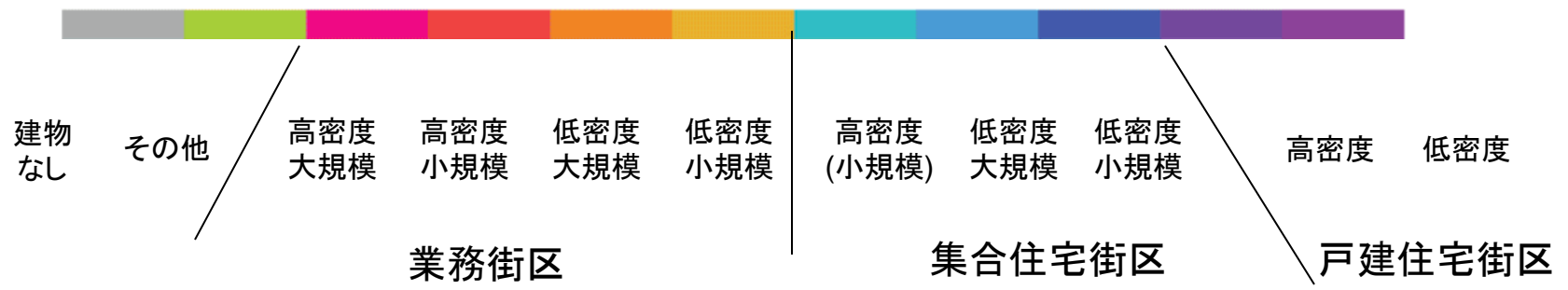
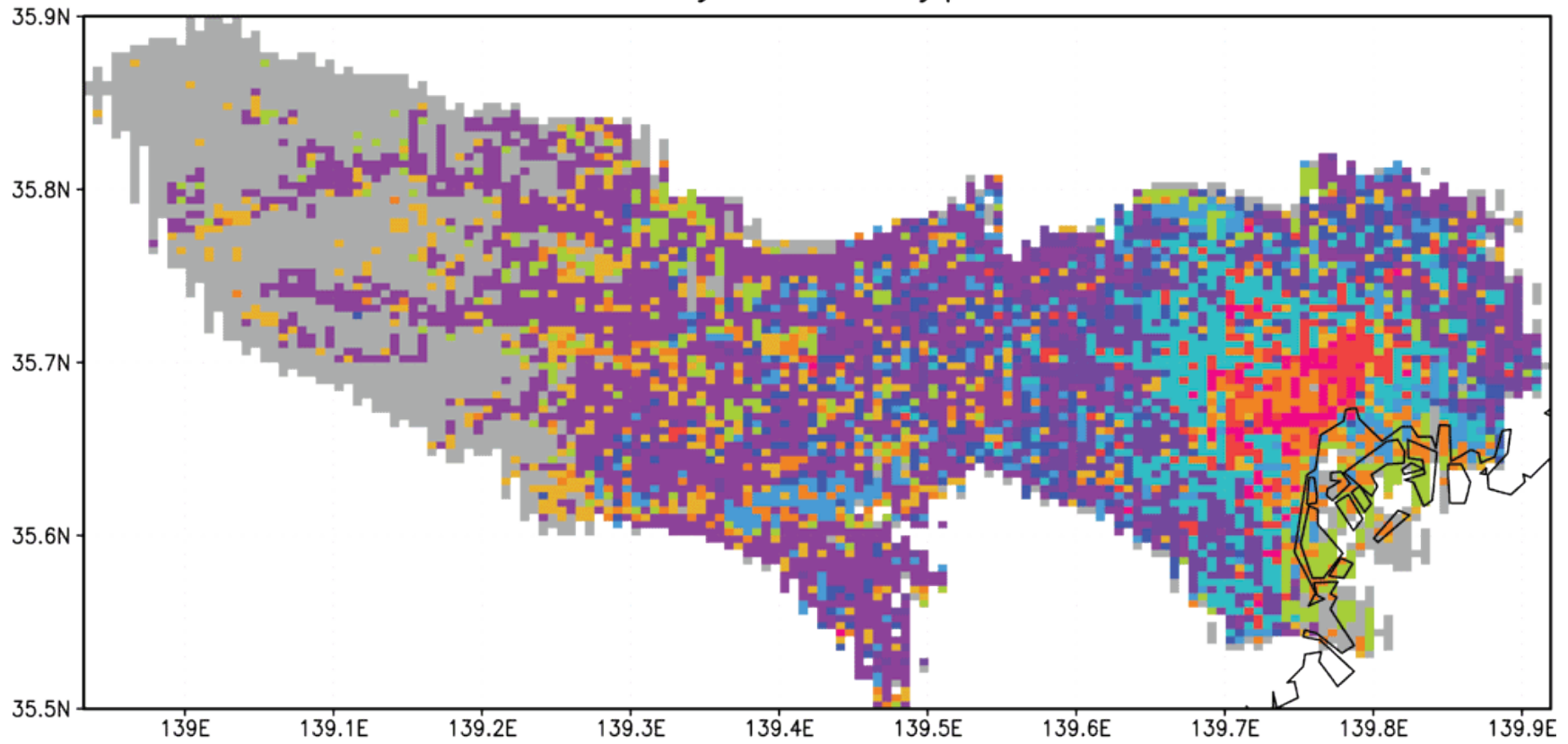


資源エネルギー庁「夏期最大電力使用日の需要構造推計
 (東京電力管内)より井原智彦作成
<http://www.meti.go.jp/setsuden/20110513taisaku/16.pdf>

政府の目標: 各部門15%削減

シミュレーションは産業を除いて実施。業務・家庭の合計電力で議論

計算領域の街区分布 City Block Type



◆パラメータ設定

■ 上空気象

- WRFによる計算(もっと広い範囲を計算できるシミュレーションモデル)
- CM-BEMとは単方向接続
 - 接続高度: 現実の気温を再現できるように試行錯誤によって決定

■ 計算日

- 対象日: 2007年8月5日
 - 2007年7月28日-8月12日(すべて平日を仮定)で最大の電力需要が計算された日
 - 最暑日ではないが、多湿により計算期間の最大電力需要となった
 - 最高気温 > 35 °C (猛暑日)

■ 計算条件

■ 東京都全域に拡大

- 上空気象データはWRF-CMBEM(1 kmメッシュ)の計算結果
- 追加した拡大域はWRF(3 kmメッシュ)の計算結果

■ 実際の緑被率設定

- 緑被率が公開されていない自治体は、
他の自治体の土地利用別緑被率より推定

■ 業務のスケジュールを事務所より業務平均値に変更

■ 計画停電を今夏版に変更

- 春版: 6:20-22:00に1/5が3時間ずつ輪番停電
- 夏版: 9:30-20:00に1/5が2時間ずつ輪番停電
 - さらに1グループを5つのサブグループに分け、10分ずつ停電開始・解除を遅延

■ 数値モデル

■ 空調室と非空調室の間に熱伝達する内壁を設置

◆ (3) スケジュールデータ

- 在室スケジュール

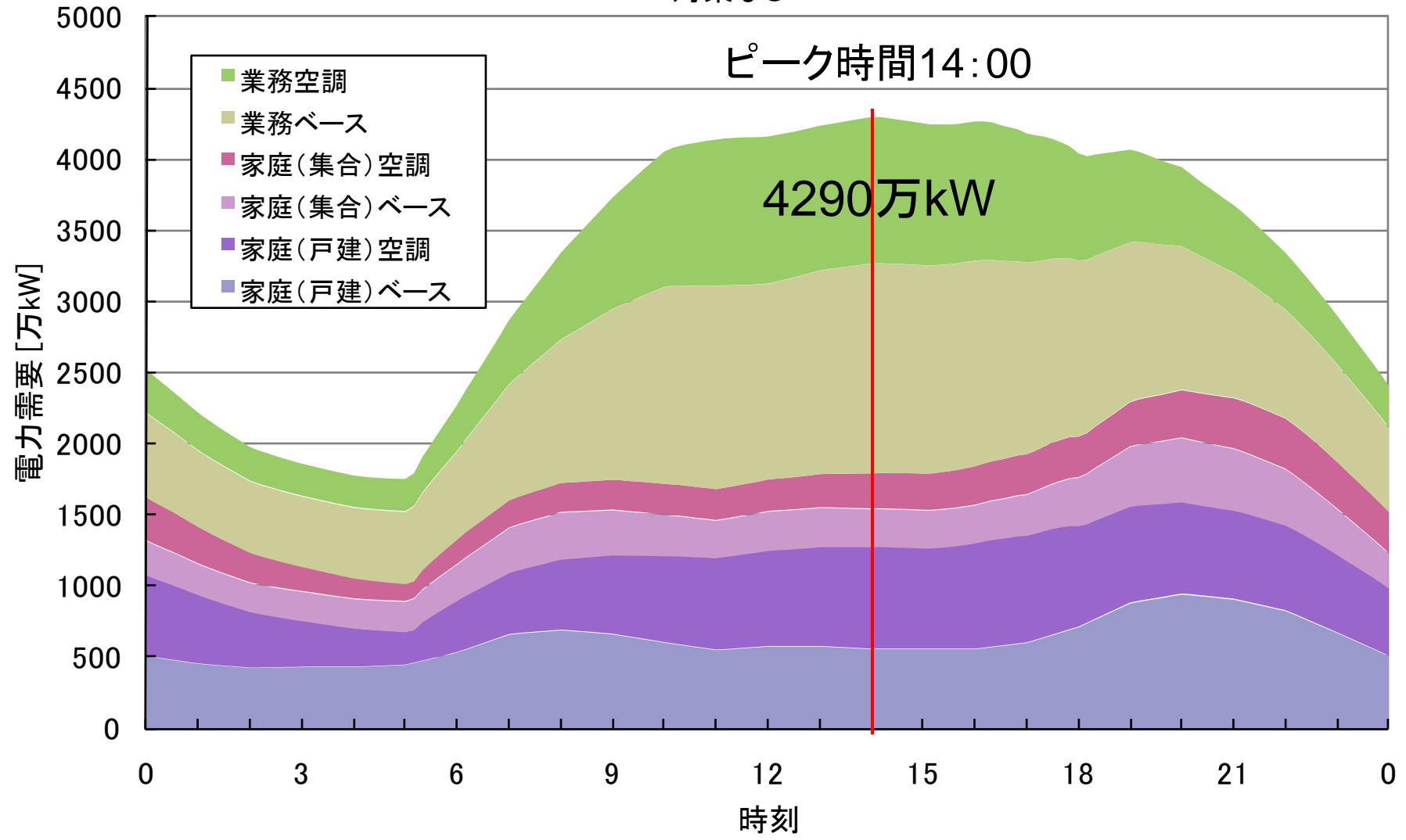
- 電気・ガス機器使用スケジュール
 - 資源・エネルギー庁推定の需要構造の空調以外のスケジュールを使用

- 空調使用スケジュール(空調面積率)
 - 資源・エネルギー庁推定の需要構造の空調スケジュールに計算結果が合うように試行錯誤して設定

- 空調の目標室温(モデル上では過負荷時以外は空調設定室温と室温は同義)
 - 家庭: 過去に実施した調査より
 - 業務: 資源・エネルギー庁の節電対策メニューより

4. 基準シナリオ(対策なし)

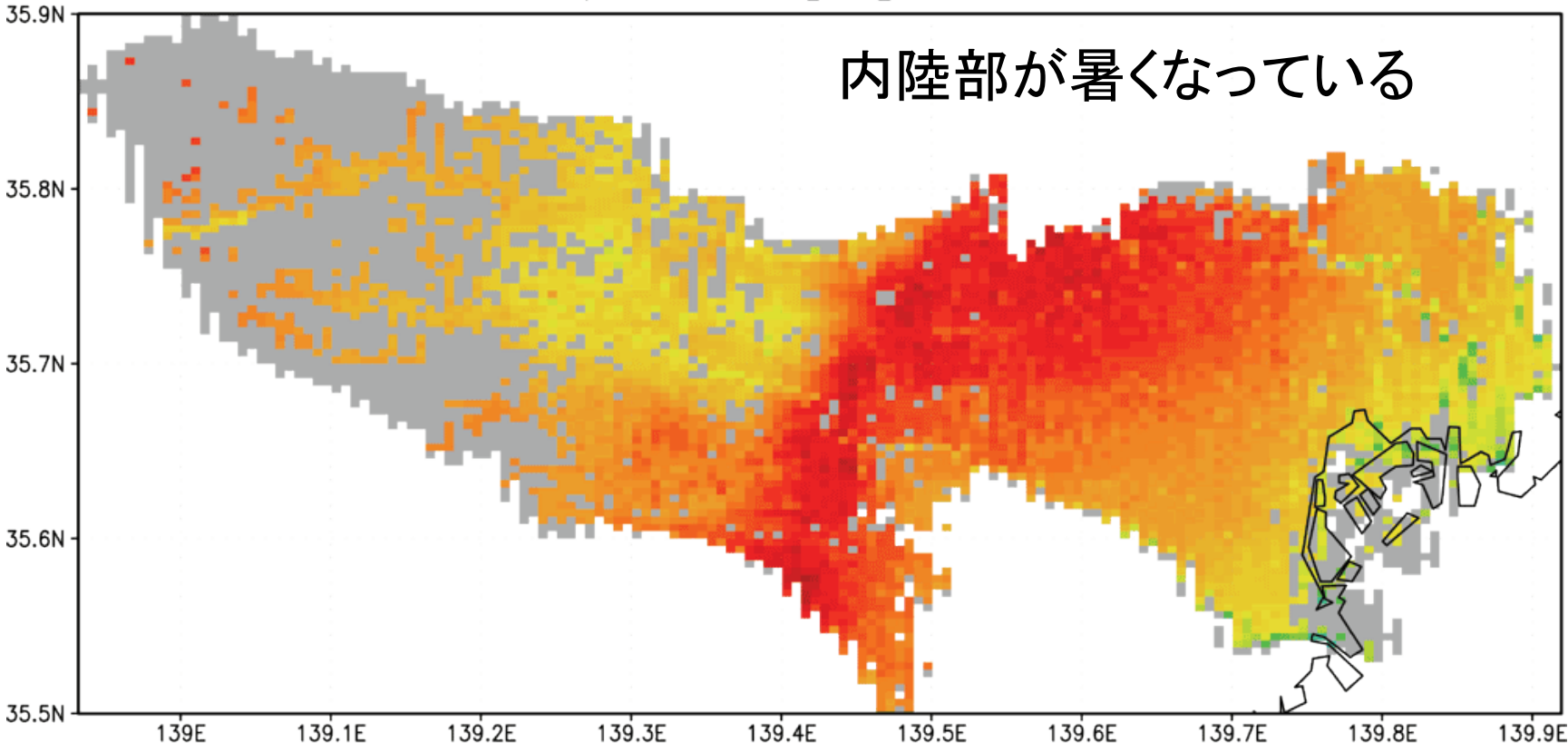
◆ 電力需要(家庭・業務のみ) 対策なし



基準シナリオでの地上気温(8月5日15時)

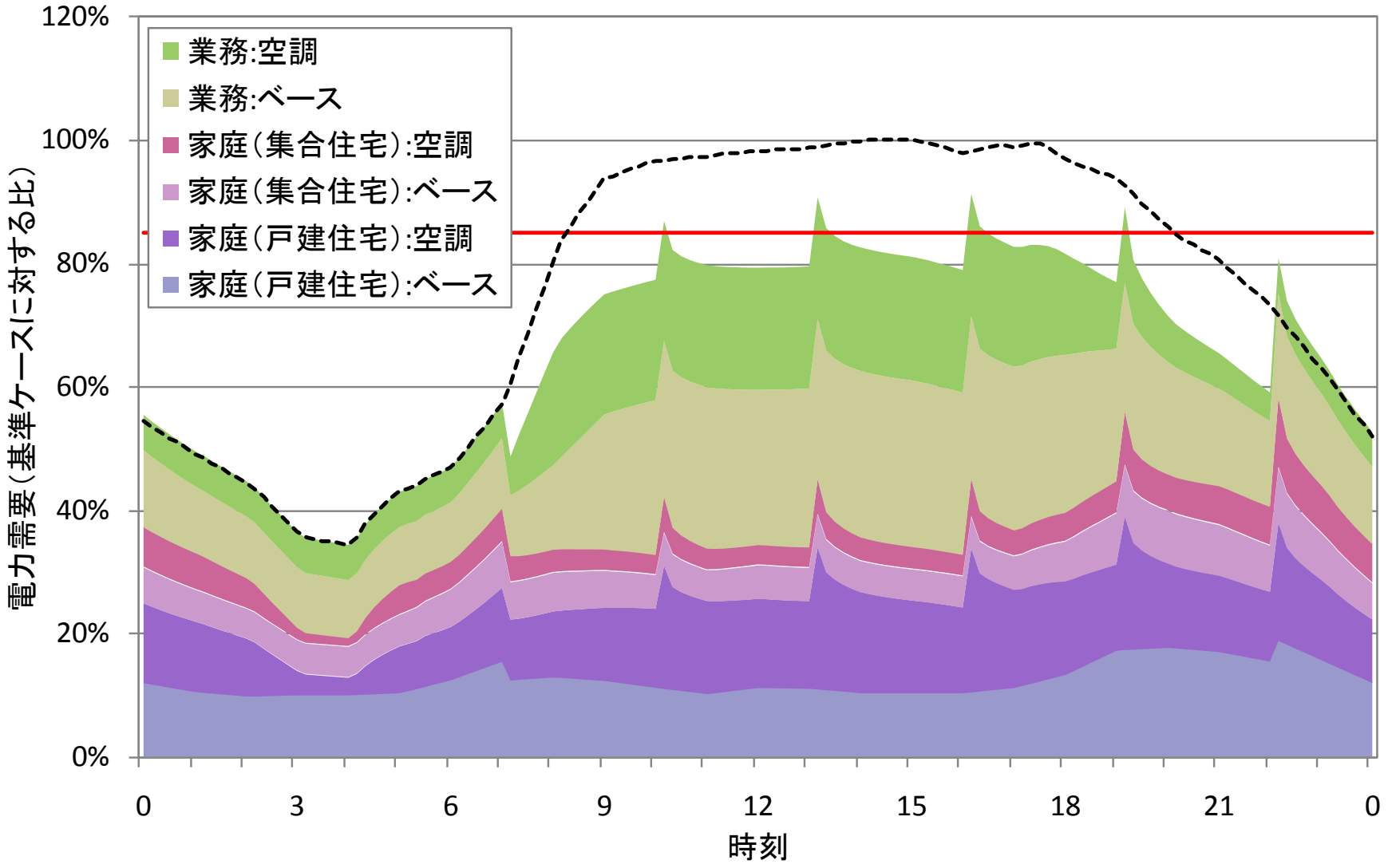
Surface Air Temperature [°C] 2007:08:05:15:00 JST

内陸部が暑くなっている



5. 計画停電の影響

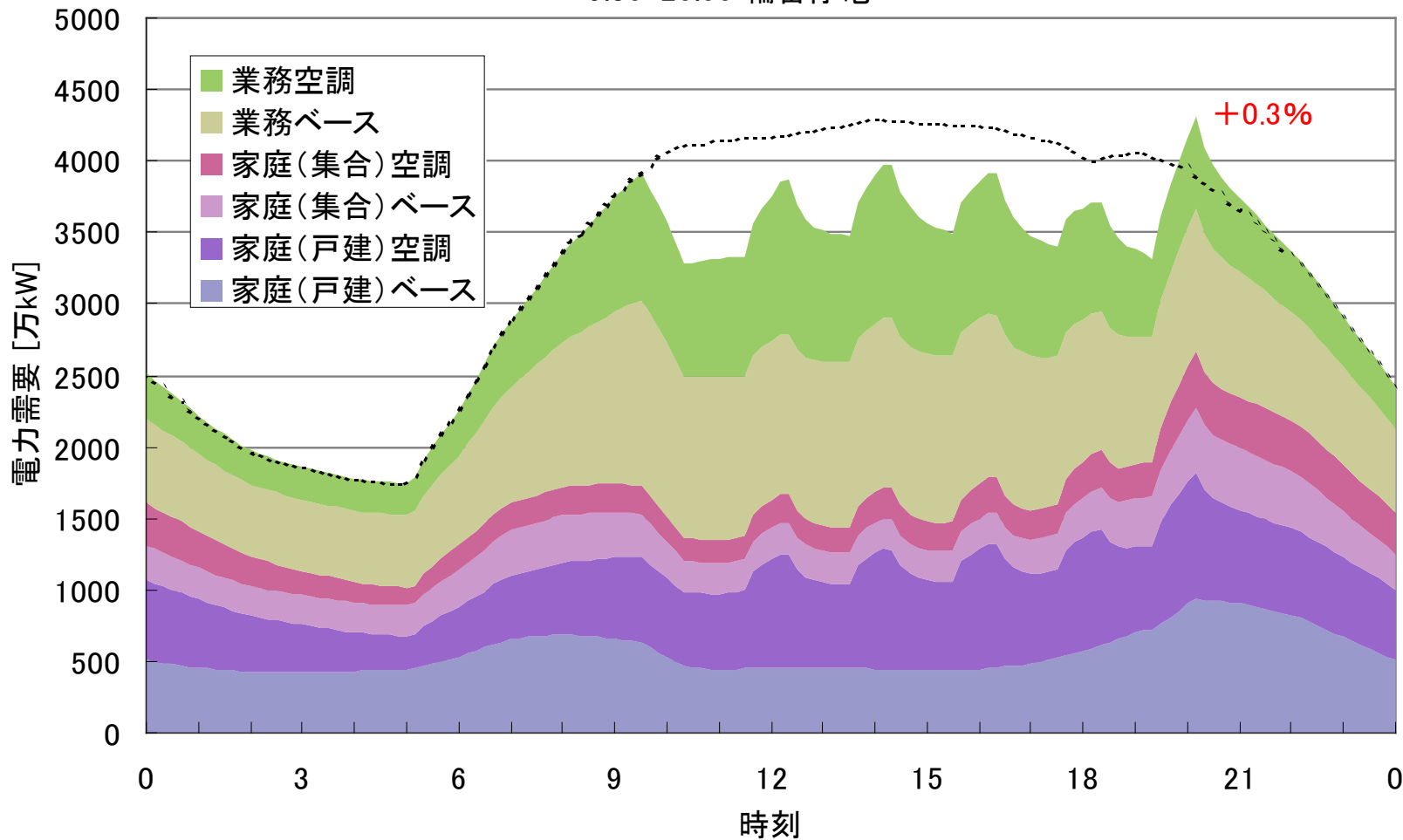
◆(0) 計画停電(春版)



3時間ずつ1/5が停電、重なり時間なし、22時まで停電を想定

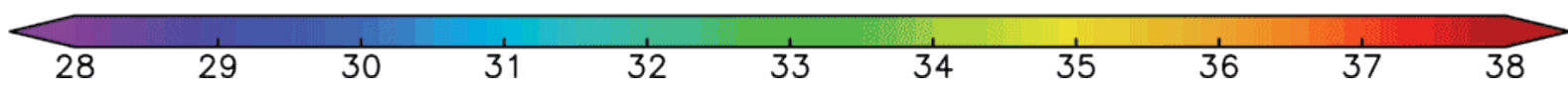
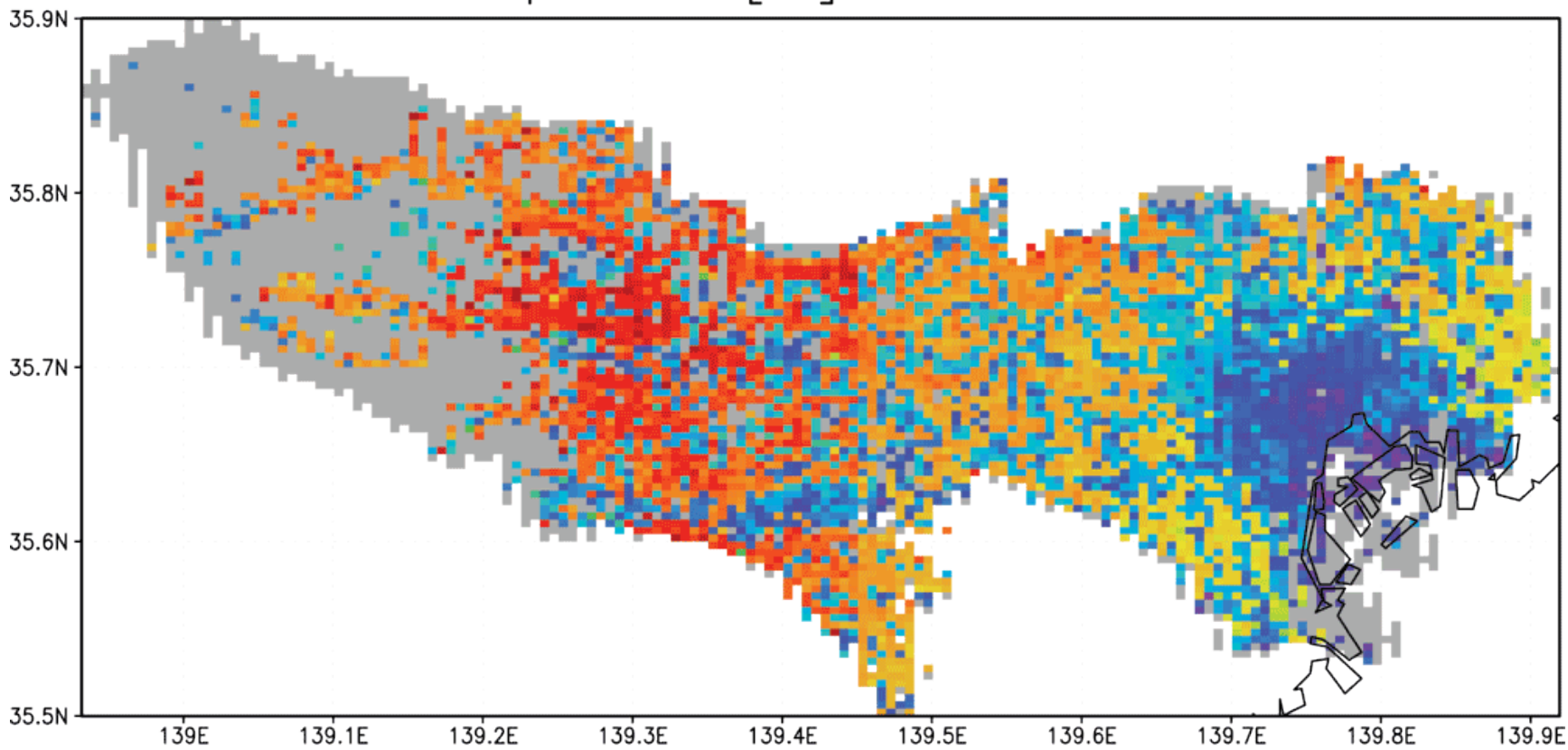
計画停電の影響

9:30-20:00 輪番停電



停電切り替えの時間は30分程度オーバーラップのため緩やかな立ち上がり
 停電中、室温が高くなるためにエアコン電力消費増のため20%削減にならない
 終了が20時のため需要が大きく、停電後にピーク発生

Indoor Temperature [°C] 2007:08:05:12:00 JST



10:00~12:00停電の場合の12:00の室温

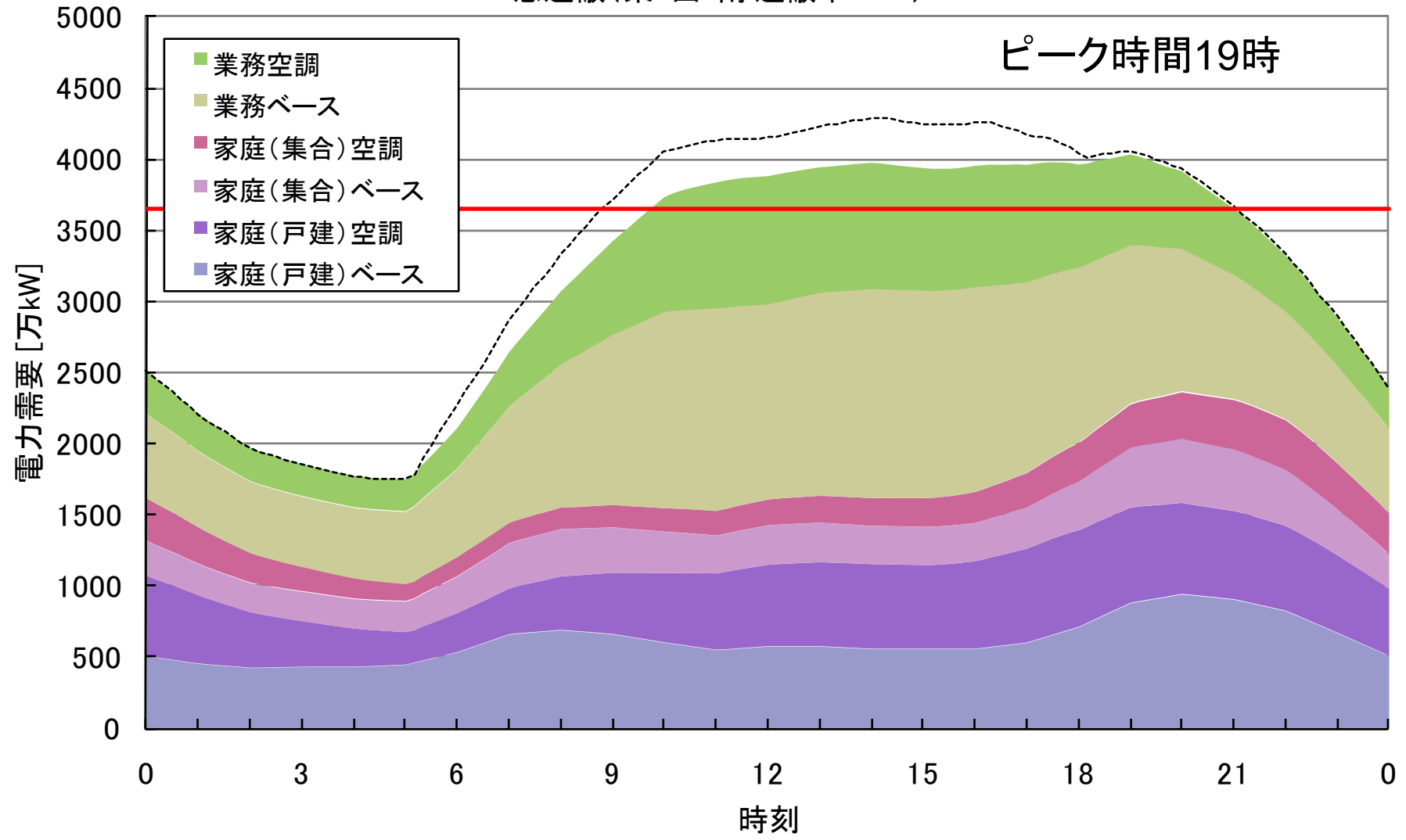
戸建て住宅で室温39°Cまで上昇する場所もあり

業務街区は室温はそれほど上昇せず(断熱性能の違い)

6. 節電対策の効果

◆(1) 窓日射遮蔽

窓遮蔽(東・西・南 遮蔽率:70%)

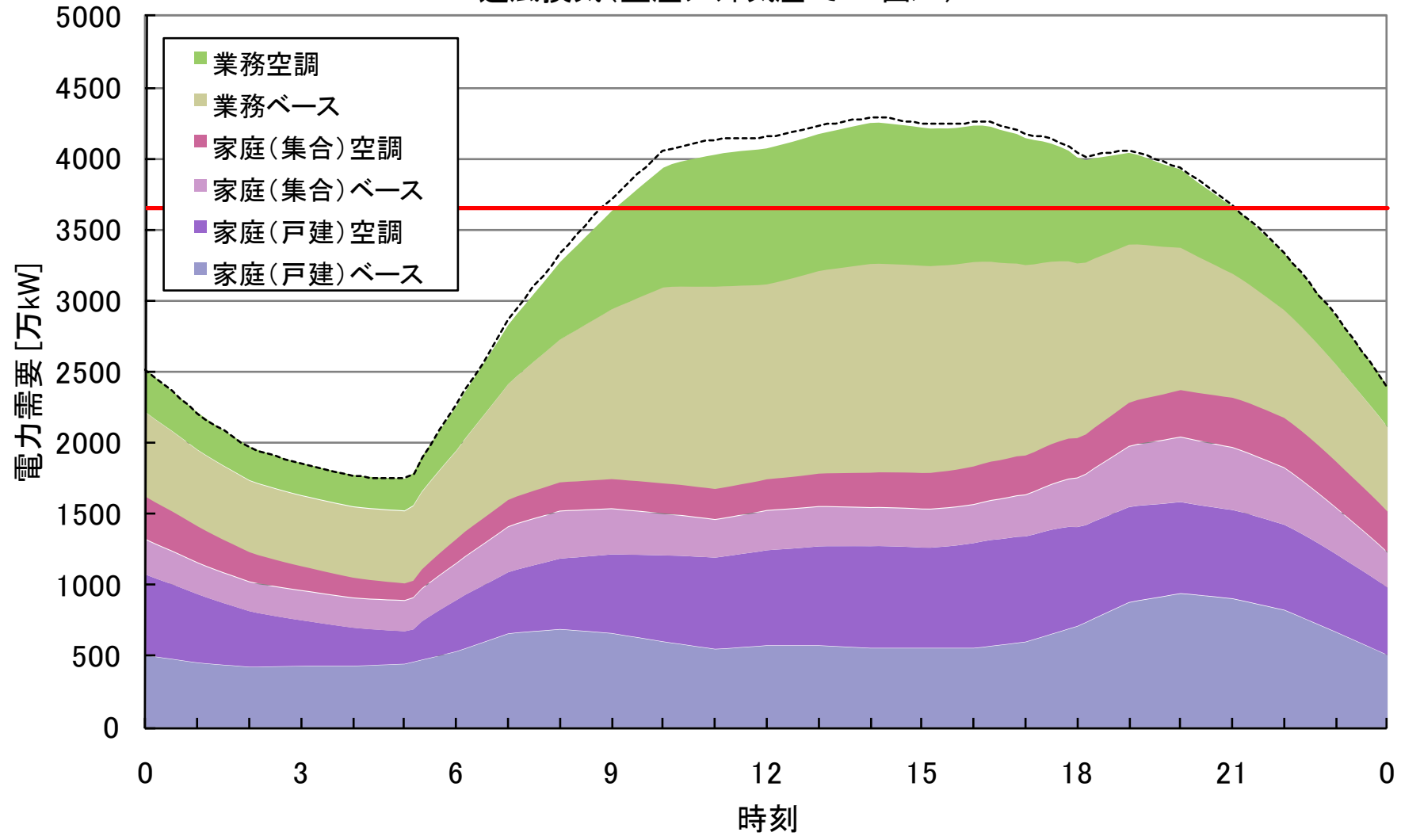


日が沈むと効果がなくなり基準ケースと同じ

6. 節電対策の効果

◆ (2) 通風換気

通風換気(室温>外気温で10回/h)

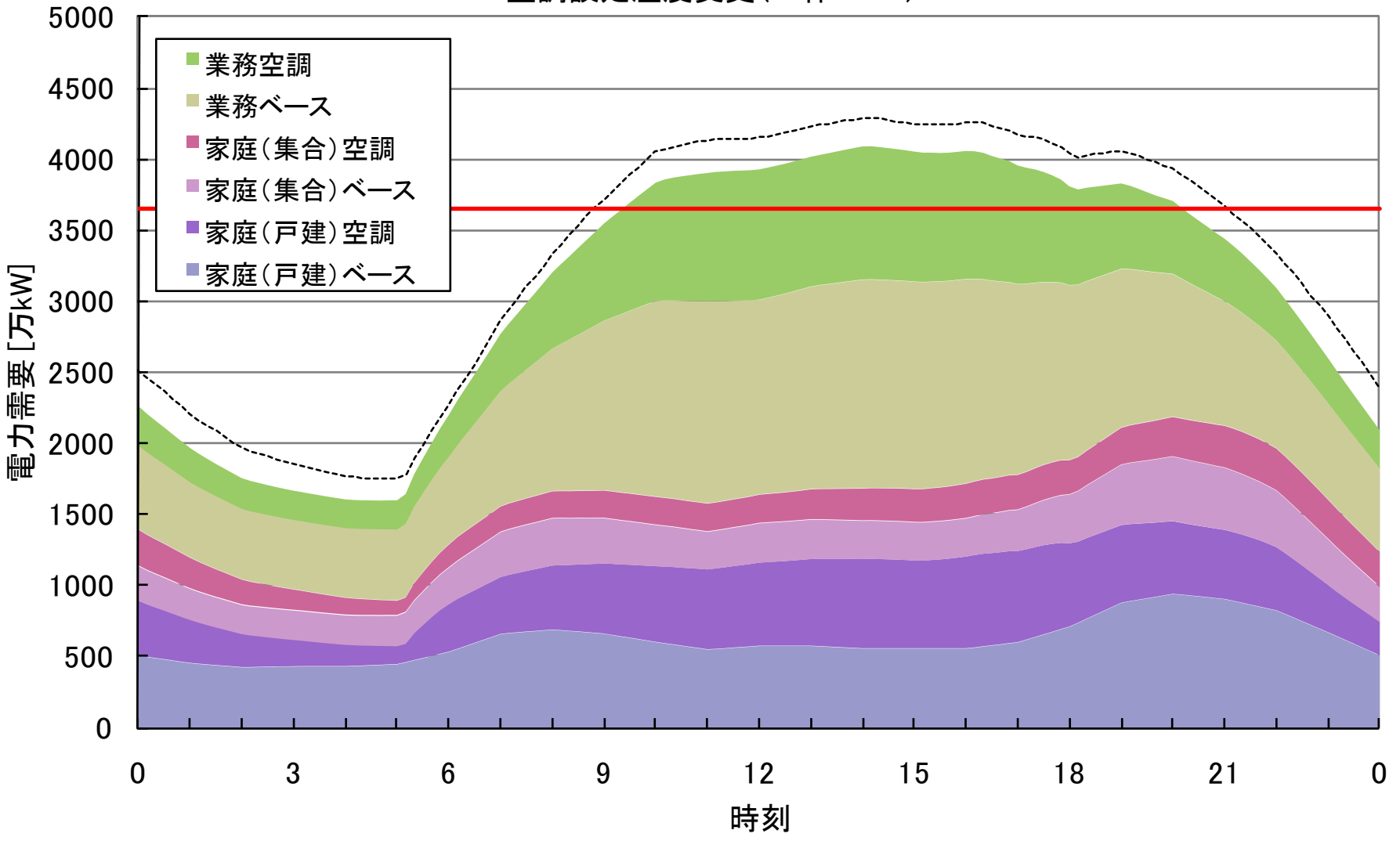


気温が低い午前中に効果

6. 節電対策の効果

◆(3-1) 空調の目標室温の変更(一律28℃)

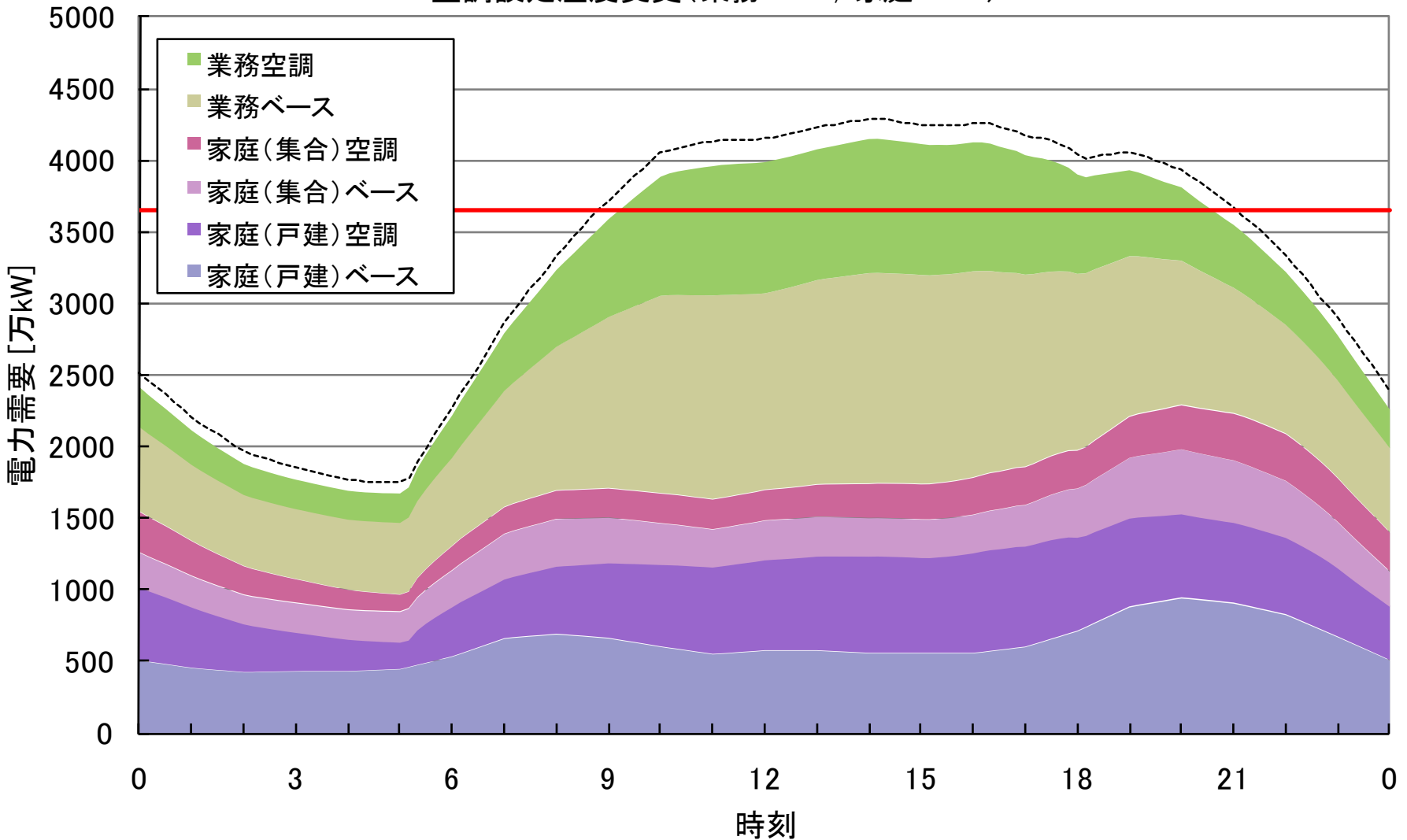
空調設定温度変更(一律 28℃)



6. 節電対策の効果

◆(4) 空調の目標室温の変更(業務28°C、家庭26°C)

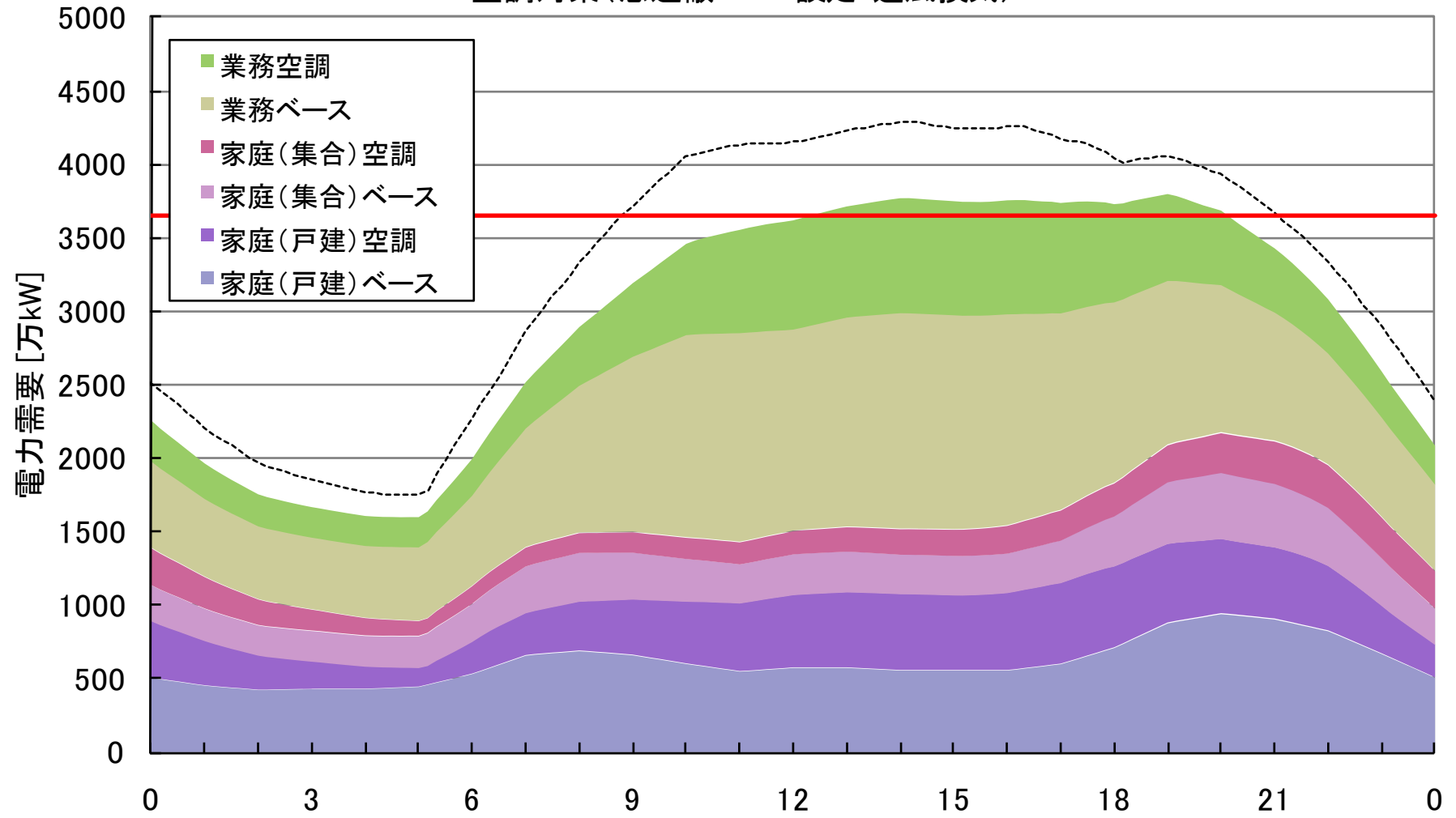
空調設定温度変更(業務 28°C, 家庭 26°C)



ピークは5%減、一日空調をつけていることが重要

◆ (5) (1)+(2)+(3)

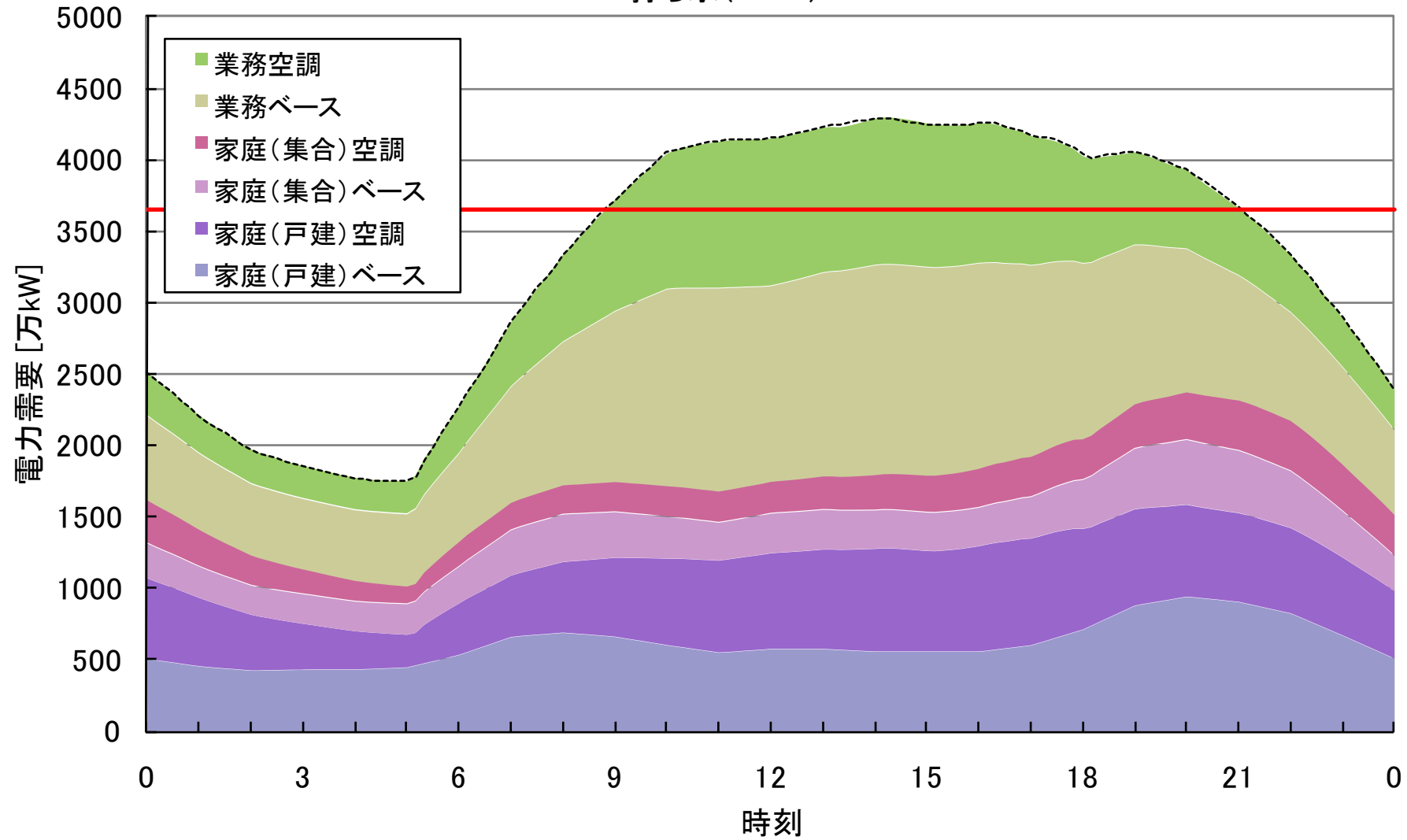
空調対策(窓遮蔽+28°C設定+通風換気)



ピークは12%減、19時にピーク発生

◆(8-1) 打ち水(13:00)

打ち水(13:00)

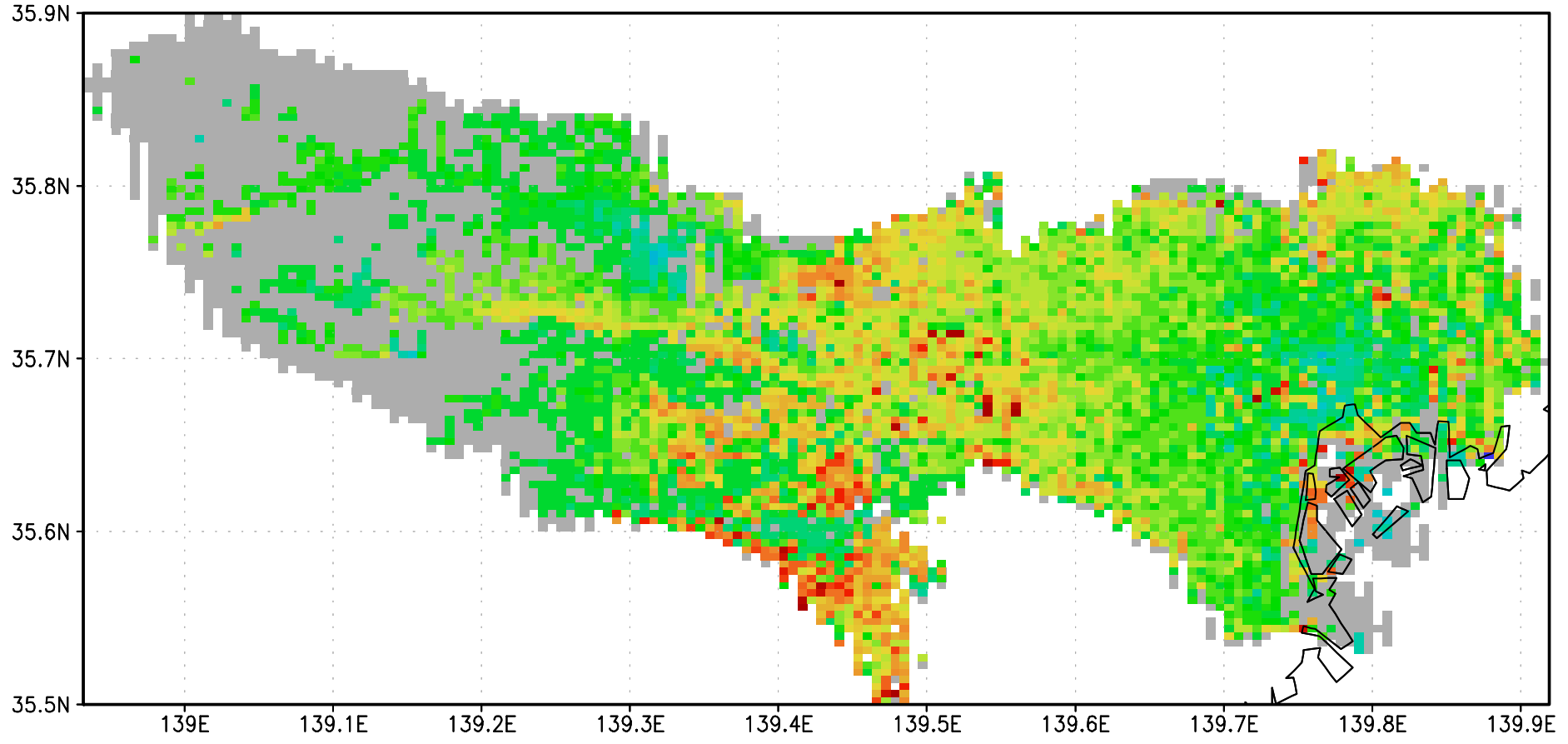


電力需要の変化は1%以下

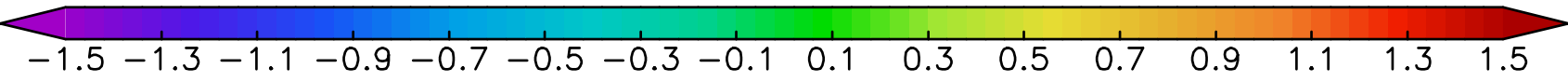
6. 節電対策の効果

◆ (6) 打ち水(13:00): 体感温度(標準新有効温度SET*)

Changes in SET* [degC]



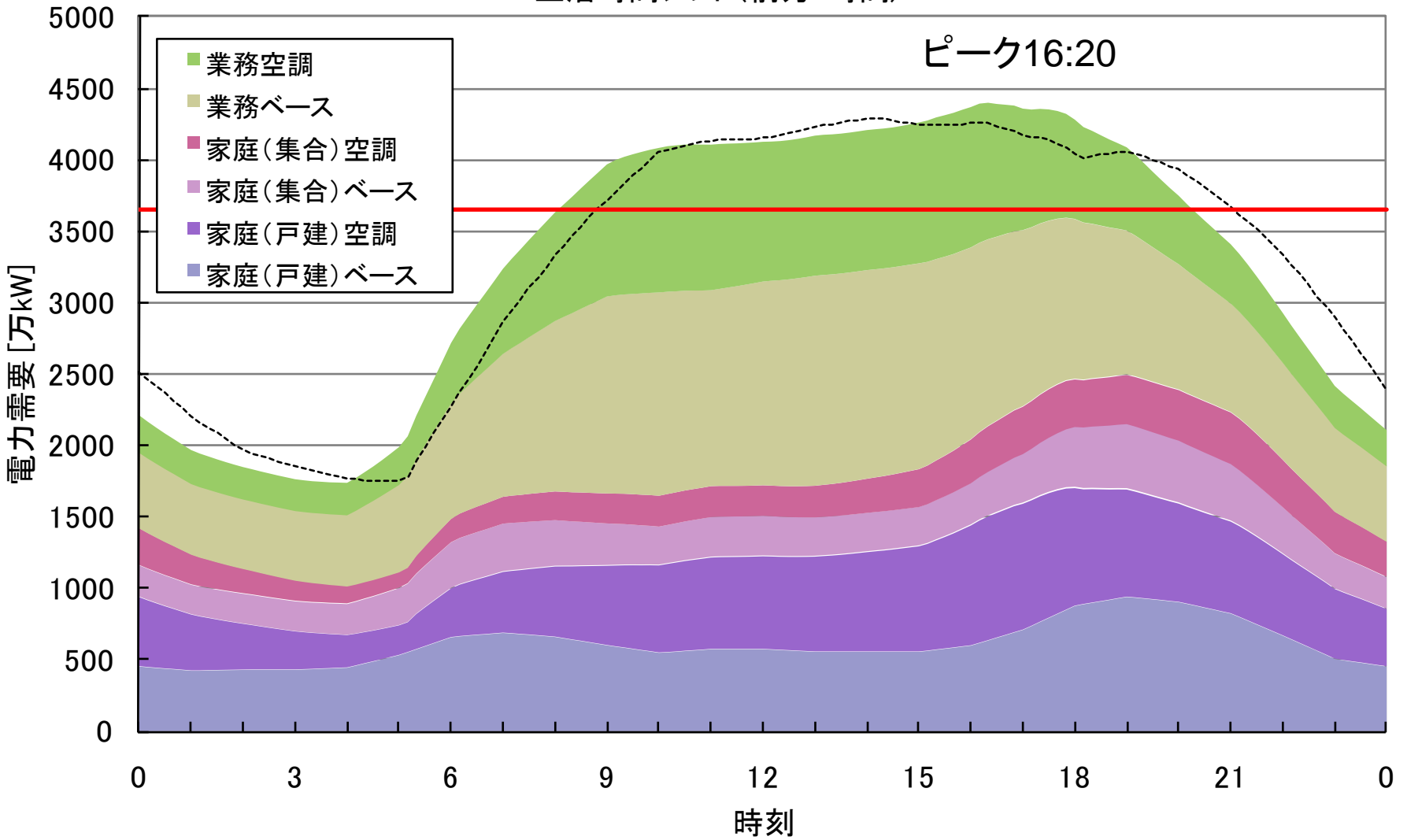
街区構造により効果の有無が異なる



6. 節電対策の効果

◆(10) 生活スケジュール1時間前方シフト(サマータイム)

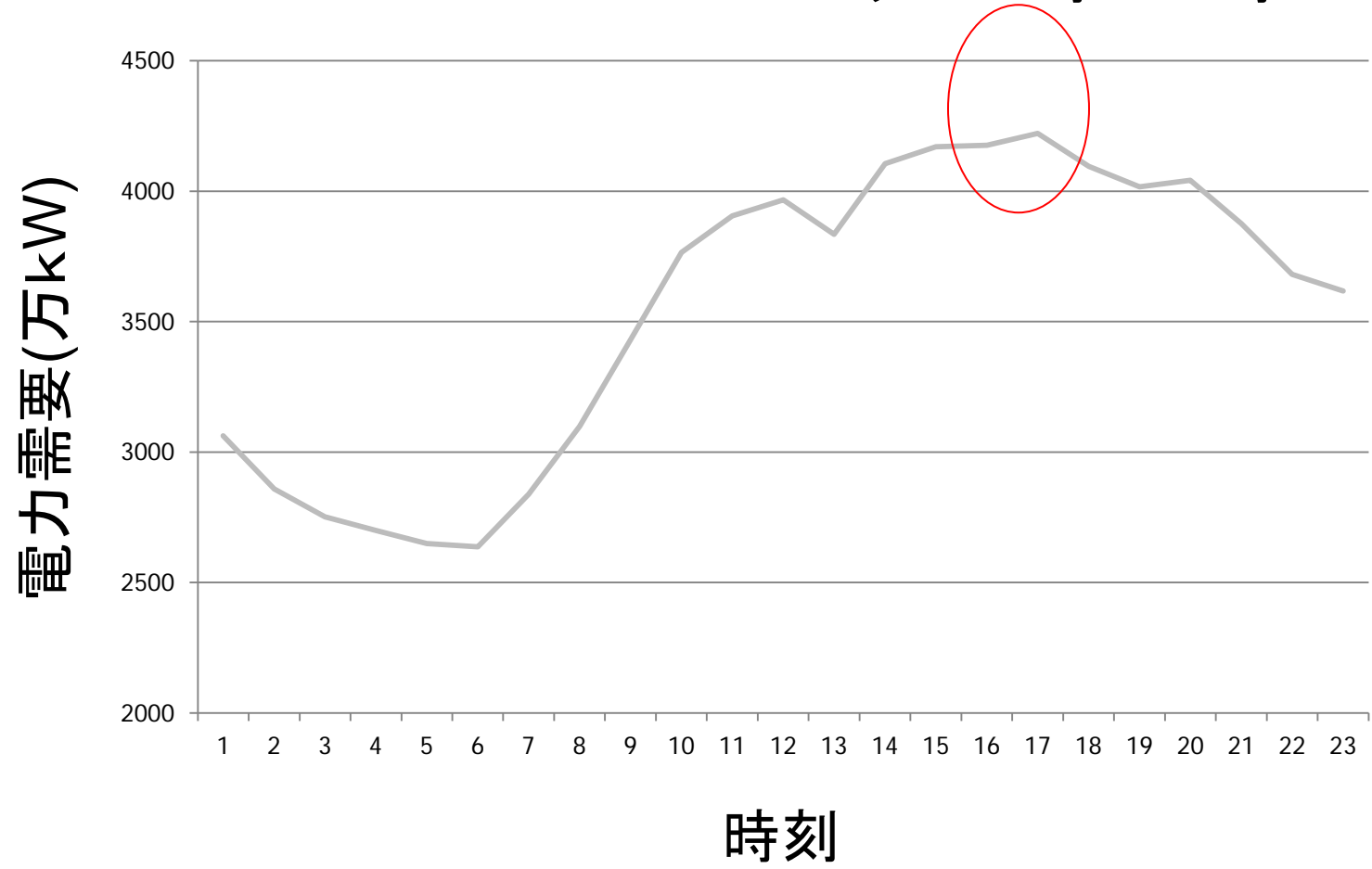
生活時間シフト(前方1時間)



2%のピーク電力需要増加

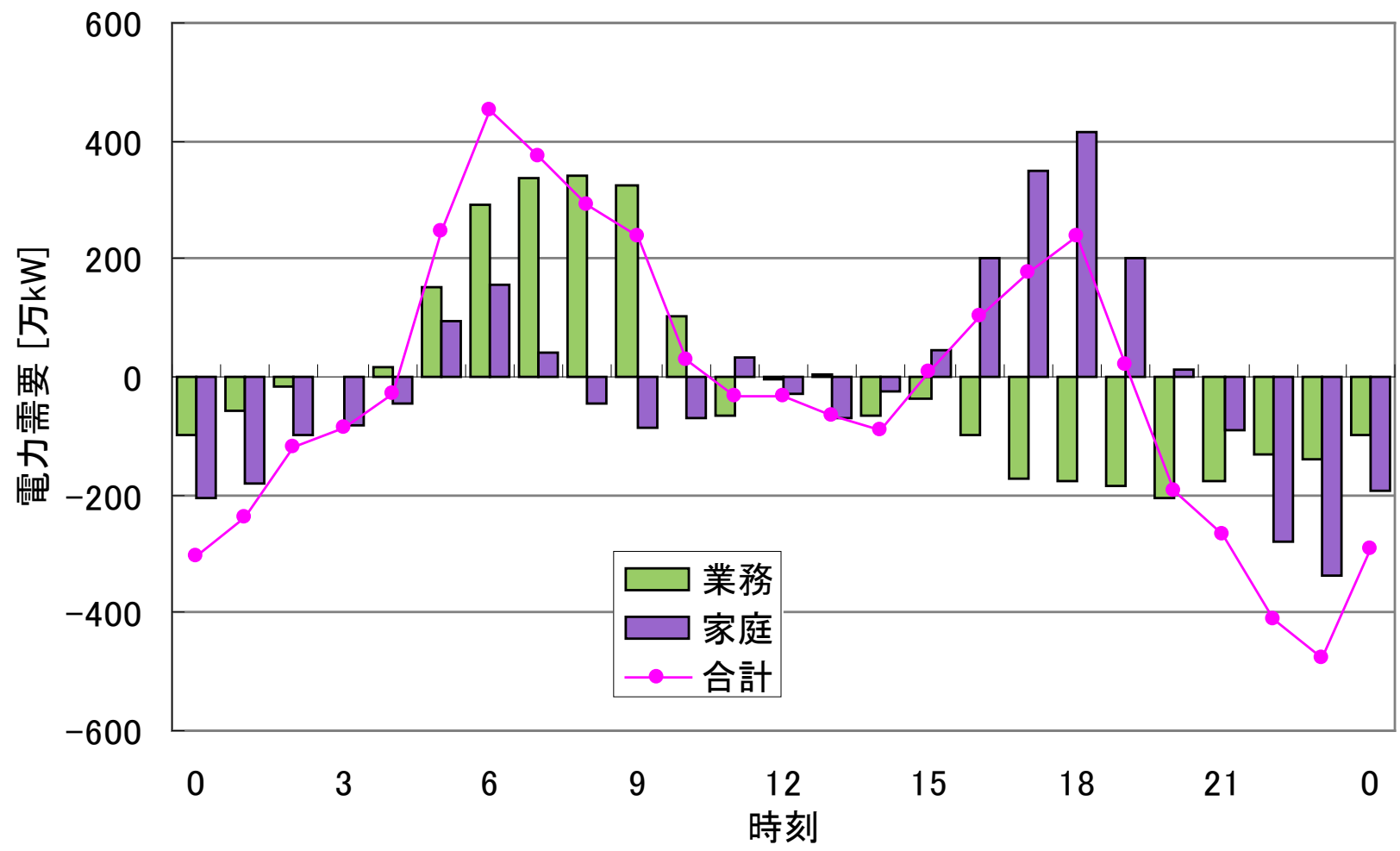
2011年6月23日の東京電力需要カーブ

ピークが16時～17時



今まで現れることのなかった夕方のピークが実際に出現

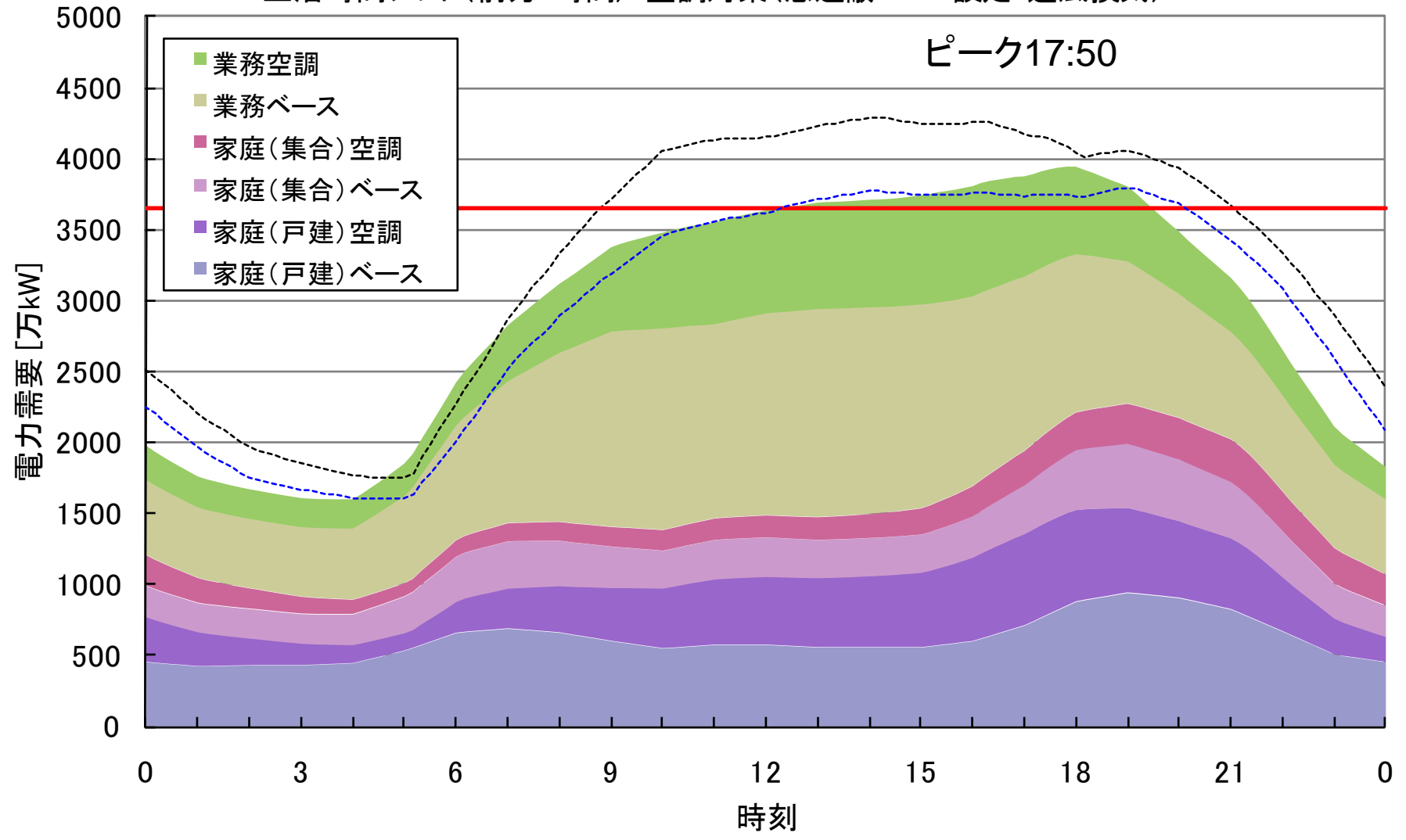
サマータイムの部門別時刻別増減



日積算では152.6万kWh削減(-0.2%)
夕方、業務が減少しても家庭が増加

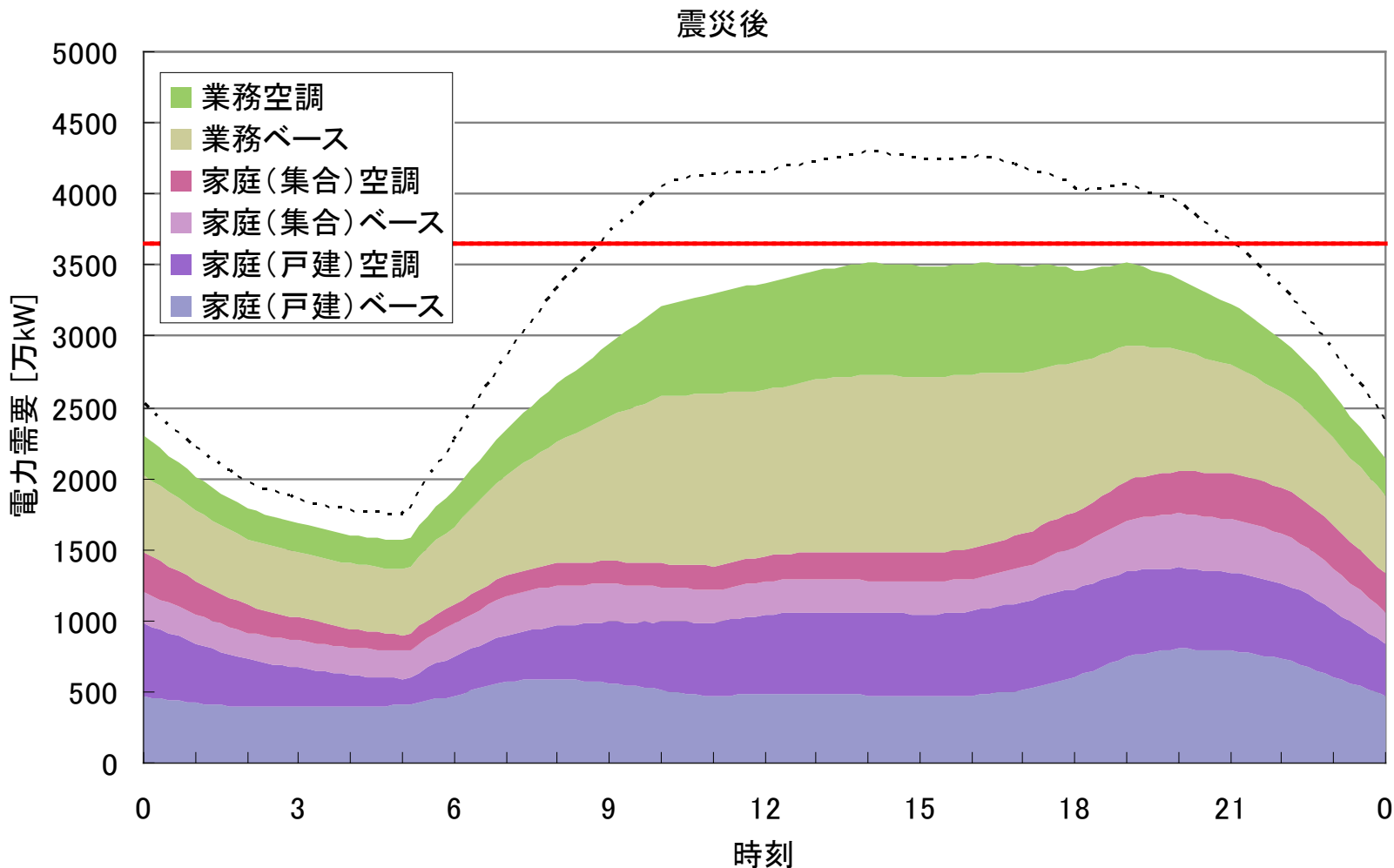
◆ (10-3) サマータイム+(1)+(2)+(3)

生活時間シフト(前方1時間)+空調対策(窓遮蔽+28°C設定+通風換気)



8%のピーク電力需要減

(12) 震災後想定ケース



ピークは18%減

家庭と業務でそれぞれ照明機器(ベース)15%節電

空調設定温度業務26→28°C、家庭24.5→26°C

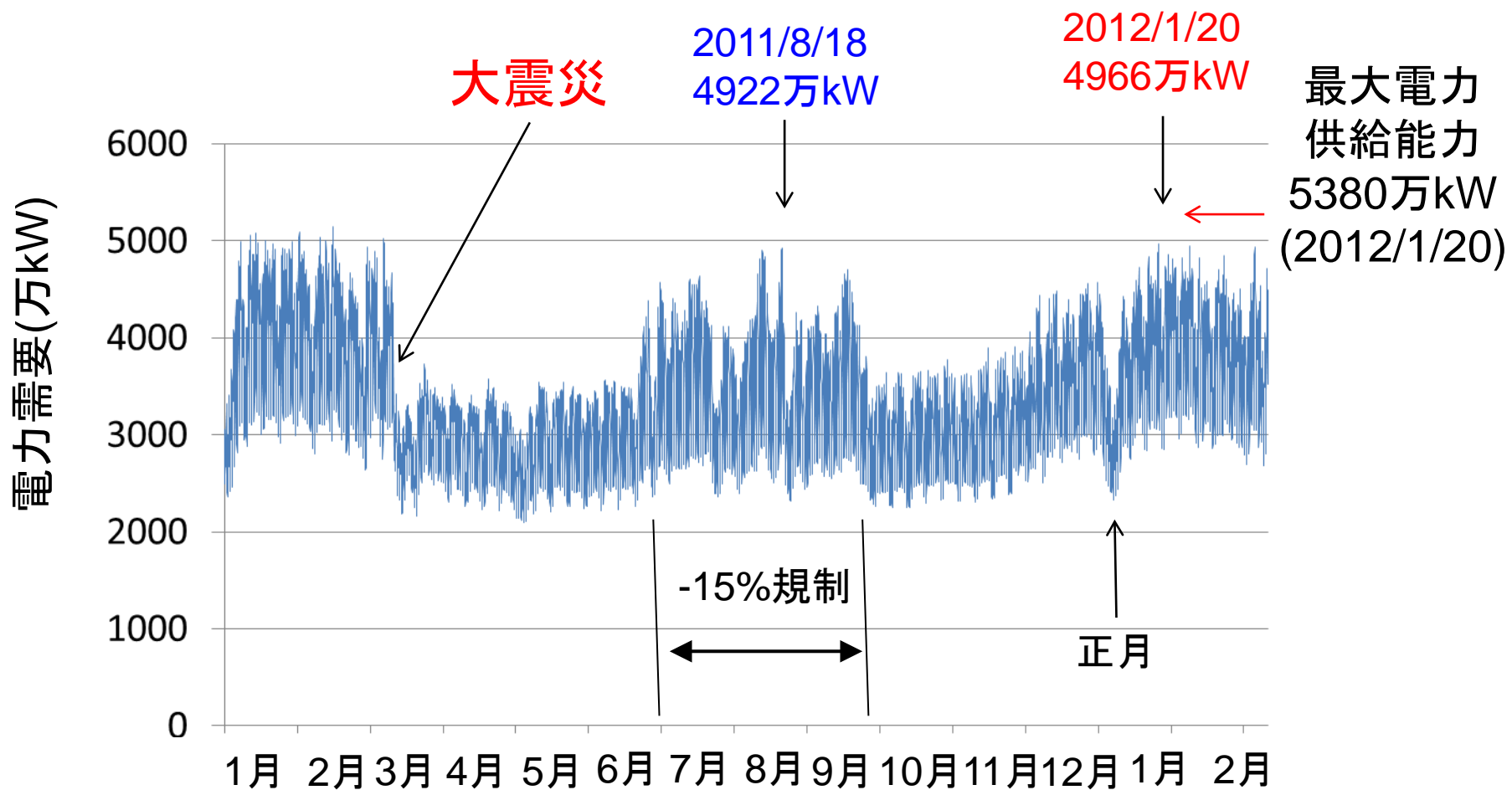
家庭と業務で、窓日射遮蔽と通風換気(実施率80%)

節電対策まとめ

単位:%

空調節電対策	家庭+業務の 最大電力需要		基準シナリオの ピーク時刻 (14:00) の電力需要			対策導入時の ピーク時刻 の電力需要		
	ピーク 時刻	家庭 + 業務	家庭			家庭		
			戸建 住宅	集合 住宅	業務	戸建 住宅	集合 住宅	業務
(0-2) 計画停電(-20:00)	20:10	-1	-4	-13	-13	+11	+11	+5
(0-3) 計画停電(-18:10)	18:20	+3	-4	-13	-13	+15	+10	+7
(1) 窓日射遮蔽	19:00	-6	-9	-9	-6	-1	-1	0
(2) 通風換気	14:10	-1	0	0	-1	0	0	-1
(3-1) 室温28℃	14:10	-5	-6	-4	-4	-6	-4	-4
(3-2) 室温+2℃	14:10	-3	-3	-2	-4	-3	-2	-4
(4) (1)+(2)+(3-1)	19:00	-11	-15	-14	-10	-9	-8	-3
(12) 震災後	14:10	-18	-17	-18	-18	-17	-18	-18
(7) 屋上高反射	14:10	-2	-5	-1	-1	-5	-1	-1
(8-1) 打ち水(13:00)	14:10	0	0	0	0	+1	0	0
(8-4) 打ち水(6:00)	14:00	0	0	0	0	0	0	0
(8-3) 打ち水(17:00)	14:00	0	0	0	0	0	0	0
(9) 室外機水噴霧	14:10	-6	-8	-6	-5	-8	-6	-5
(10-1) 生活前倒し	16:10	+2	-2	-2	-3	+13	+14	-4
(10-3) 生活前倒し+(4)	16:40	-10	-17	-15	-11	-3	0	-13
(10-2) 生活後ろ倒し	14:00	+2	+4	+4	0	+4	+4	0
(11) 輪番シエスタ	16:10	-1	0	0	-22	0	0	0

対策は夏だけではない！ 2011年1月から2012年2月までの東京電力管内電力需要カーブ



冬季需要ピークが夏季よりも大きかった。
(夏季には-15%規制あり)

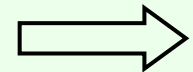
問題は...

対策が必要な問題は、節電やヒートアイランドだけではない

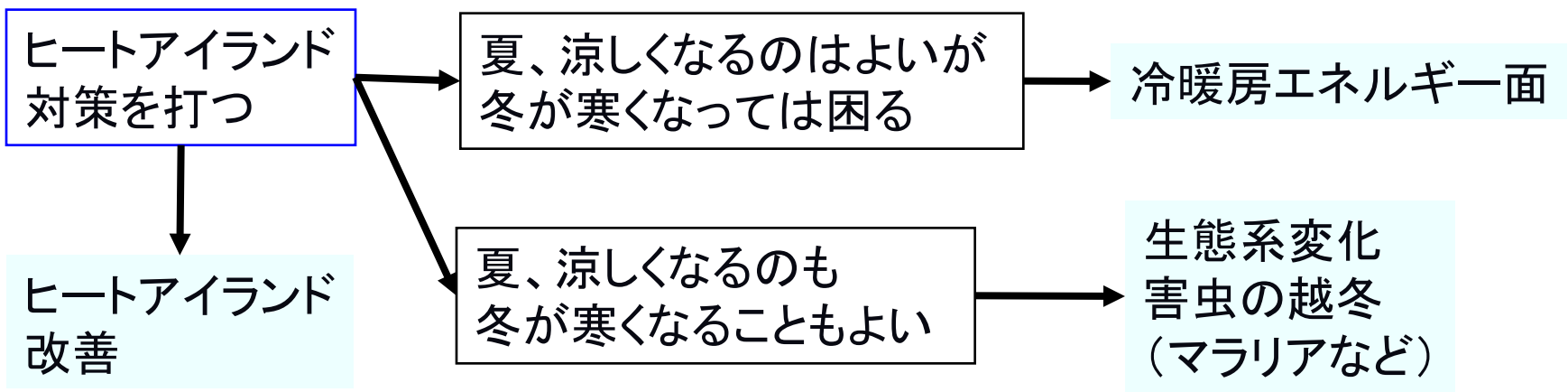
- ・地球温暖化
- ・健康影響
- ・自然環境保護
- ・その他

複数の問題への対応必要

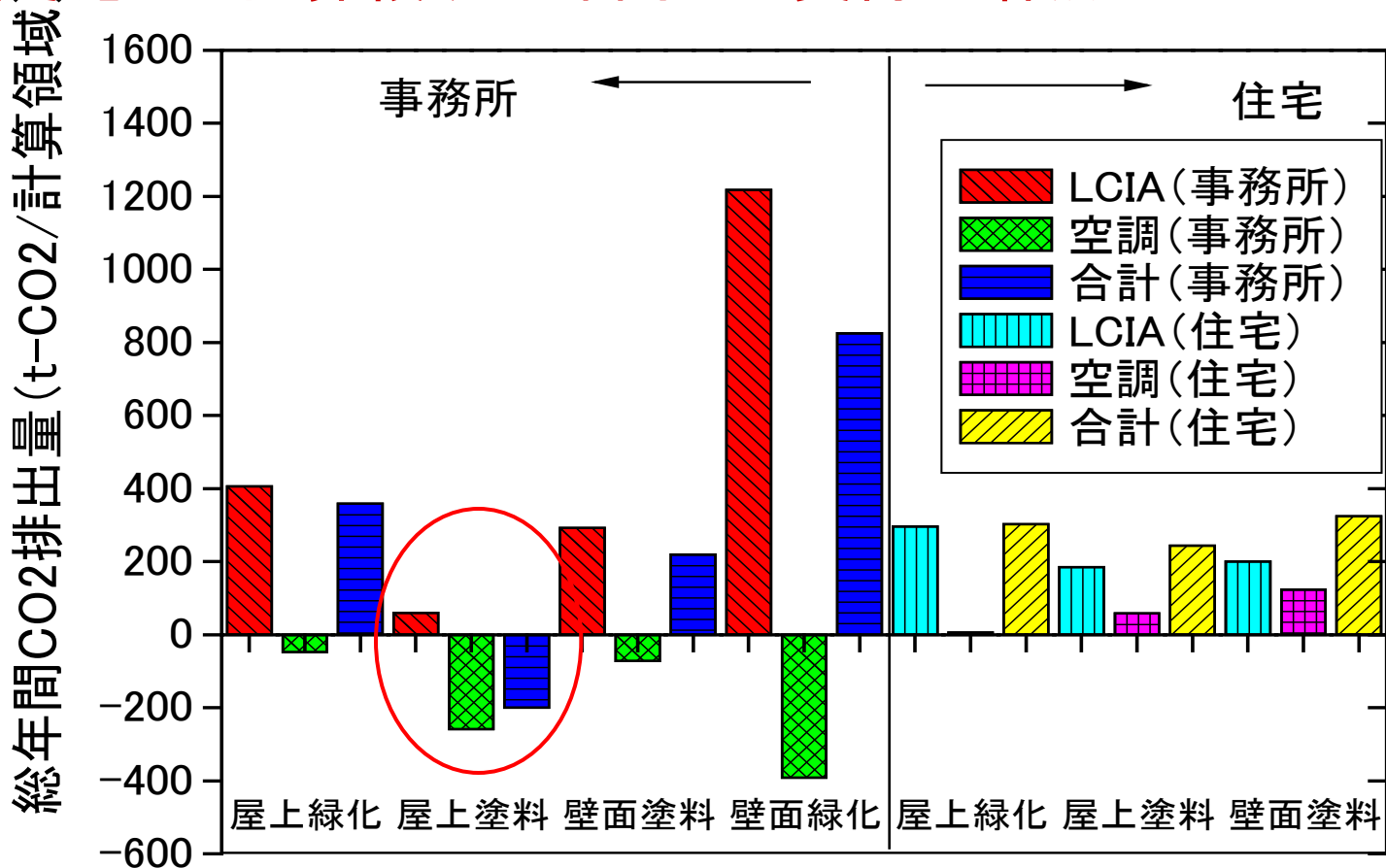
連鎖の考慮
定量性



ライフサイクル思考



LCA結果とヒートアイランド対策による空調エネルギー消費変化を考慮した計算領域の年間CO2負荷の増減



- ✓ CO2負荷削減は屋上への高反射高放射塗料塗布のみ。計算領域で約200tのCO2削減と推定
- ✓ 計算条件によって値が変わる！

対策導入に対して想定外をなくしていく地道な努力が必要

- ・メリット、デメリットの定量的な提示
 - ヒト健康、社会資産、生物多様性、1次生産量など上位の概念にまとめる

- ・対策導入後の長期的モニタリング
 - 年間が対象。他の問題への波及発見のためにも必要
適応策の場合、メリット、デメリットの計測必要

- ・「データがないので議論できない」をなくす努力
 - 定量化のためのデータベース作成 (public統計の充実)
 ヒートアイランドと節電であれば、産業・民生・業務部門の地域別時刻別用途別電力需要