

## 建築物における運用時の CO2 削減に関する研究

筑波大学	沃宏杰
筑波大学	氷鮑揚四郎
筑波大学	水野谷剛
筑波大学	ヤバール ヘルムート

近年では、中国経済は高度成長の一方で電力不足や二酸化炭素排出量の急増等の様々な社会問題が深刻化している。特にこの数年、中国の都市化が急速に進み、建物の建設及び生活水準向上によって、建築のエネルギー消費量は急増している。現在中国の既存建物の面積は 450 億 m<sup>2</sup> 近くであるが、そのうちの 90% 以上は高エネルギー消費建築物であり、建物の断熱性、気密性があまり考えなくて、単位建築面積あたりのエネルギー消費は先進国の約 3 倍に達している。2010 年、建築におけるエネルギー消費量は 6.77 億 tce、全国の総エネルギー消費量の 20.9% を占めている、過去の先進国の経験から見ると、経済発展により、建築におけるエネルギー消費は総エネルギー消費量の 3 割を占めることが見込んでいる。したがって、建築における省エネルギー対策が強く求められている。

本研究では、中国の夏暑冬寒地域に位置、人口密度と経済発展が高い浙江省杭州市をモデル地域として、建物外皮の断熱性と空調設備の効率の向上により変化する CO2 排出量とそのイニシャルコストの分析を行い、杭州市に適した省エネルギー対策を提案し、更にその経済性と環境性を検討することを目的とする。

## Mitigation CO<sub>2</sub> emissions from energy use in buildings

Honejie	Wo	(University of Tsukuba)
Yoshiro	Higano	(University of Tsukuba)
Takeshi	mizunoya	(University of Tsukuba)
Helmut	Yabar	(University of Tsukuba)

Buildings are an important contributor to world's energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions. In 2010 buildings accounted for 32% of total global final energy use, 19% of energy-related GHG emissions (including electricity-related), approximately one-third of black carbon emissions, and an eighth to a third of F-gases.

China is the second largest building energy user in the world. In 2010, China's buildings sector consumed 20.9% of China's total final energy, as the living standard of the people improved, together with a rapid urbanization, energy consumption and associated emissions from the buildings sector will undoubtedly increase. Measures to address energy consumption and associated emissions from the building sector will therefore be an important part of any strategy to reduce China's CO<sub>2</sub> emissions.

# 1. 背景

## 1.1 中国のエネルギー消費量とエネルギー構成

高い経済発展により中国は世界一番目のエネルギー消費国となった、2011年中国の石炭、石油、天然ガスなどの一次エネルギー消費量は2,728Mtoeから年率1.7%で増加し、現在のエネルギー消費状況から予測すると、2040年には4,423Mtoeに達す(図1-1)。エネルギー消費の増大に伴う温室効果ガスや廃熱放出の増大を引き起こし、中国はアメリカを抜く二酸化炭素排出量も世界一になった現状である。

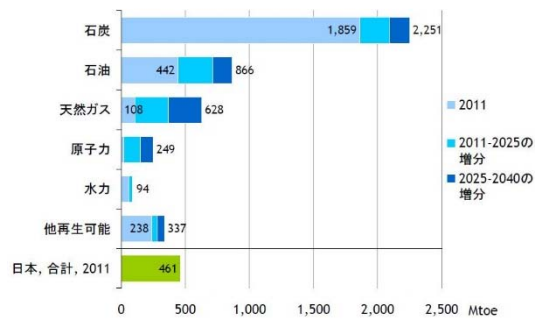


図1-1 中国の一次エネルギー消費  
出典: アジア/世界エネルギーアウトル

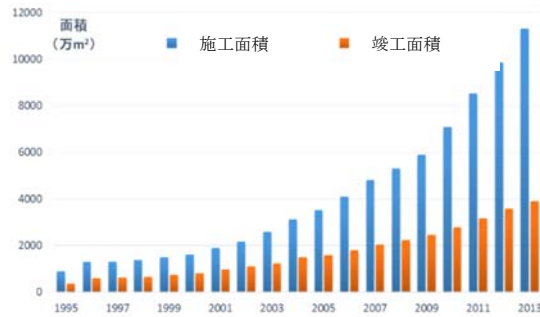


図1-2 中国の建築物の施工と竣工面積  
出典: 中国統計局より作成

## 1.2 建築におけるエネルギー消費現状

20世紀80年代から、高い経済発展とともに中国の都市化が急速に進んでいる、建物の建設(図1-2)及び生活水準の向上により、建築で消費されているエネルギーは大幅に増え続けている。現在中国の既存建築物の総延べ床面積は450億㎡を近くであるが、その90%以上は高エネルギー消費建築物であり、断熱性や気密性などがあまり考えなくて、単位面積あたりのエネルギー消費量は先進国の約3倍に達している。

2010年、建築におけるエネルギー消費量は6.77億tce、全国の総エネルギー消費量の20.9%を占めている、過去の先進国の経験から見ると、経済発展により、建築におけるエネルギー消費は総エネルギー消費量の3割を占めることが見込んでいる。したがって、建築における省エネルギー対策が強く求められている

## 2. 研究手法

### 2.1 研究目的

本研究では、中国の夏暑冬寒地域に位置、人口密度と経済発展が高い浙江省杭州市をモデル地域として、建物外皮の断熱性と電気設備の効率の向上により変化するCO<sub>2</sub>排出量とそのイニシャルコストの分析を行い、杭州市に適した省エネルギー対策を提案し、更にその経済性と環境性を検討することを目的とする。

### 2.2 研究方法

#### 1) モデル地域の地理位置及び気象特徴の調査

気候条件や地理位置は建築エネルギー消費に大きな影響を与える。

#### 2) 杭州市における建築エネルギー消費の現状に関する調査

省エネルギー化を実施するためには、まずエネルギー消費の実態を把握する必要がある。実態を把握することによって、エネルギー消費量の大きい用途やそれに関わる設備機器を特定することができ、省エネチューニングを優先的に行うべき対象について当たりをつけることが可能となる。

#### 3) 建物への環境技術項目の検討

環境技術項目の検討は、建物躯体部分の検討（断熱性能、日射の遮断等）、空気調和設備検討（高効率機器）とする。

#### 4) エネルギーシミュレーションを行う

建物外皮の断熱性と電気設備の効率の向上により、シミュレーション計算を行い、そのCO<sub>2</sub>削減効果を確認し、さらに経済性と環境性を検討する。

### 3. 空調システムと冷暖房負荷

#### 3.1 建築物におけるエネルギー消費の構造

建築物をつくり、それを運用し、修繕と改修を繰り返しながら最後に取り壊すまでの建築の生涯を通して、資源とエネルギーを消費している。そのうち建築物運用により消費されたエネルギーは全体の7割を占めている。

建築物運用におけるエネルギー消費とは、主として空調システム、給湯、照明、家電製品などである（図 3-1）。本研究では、空調システムを中心に、建物の冷暖房負荷低減のため、様々な環境技術を提案する。

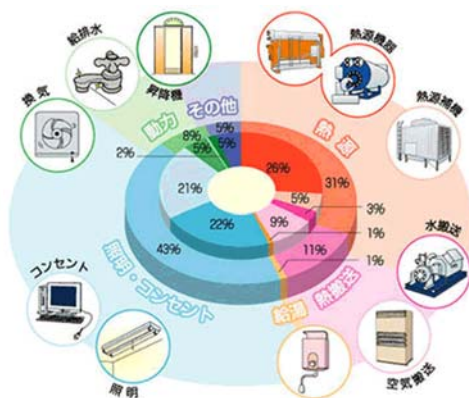


図 3-1 ビル用エネルギー消費構造  
出典:エネルギー白書 2013

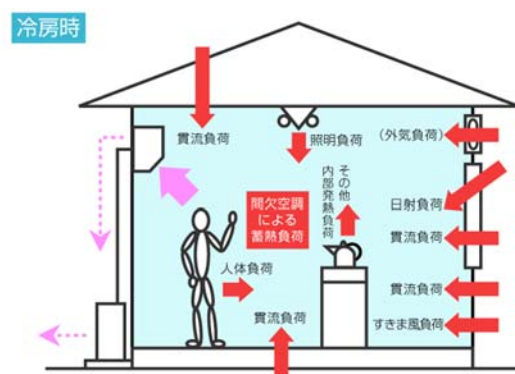


図 3-2 冷房負荷の構成  
出典:<https://www.hptcj.or.jp>

#### 3.2 冷暖房負荷

冷暖房負荷とは、室内をある一定の温湿度に保っている時、その部屋をその温湿度に保つために空気から取り除くべき熱量、または空気に供給すべき熱量を言います。時々刻々と変化する環境条件に応じて、冷房時は、室内温度を外気温度よりも下げるために、室内に入ってくる熱量を取り除く必要があります。逆に暖房時は、室内温度を外気条件よりも上げるために、室内から出ていく熱量を加えてあげる必要があります。

室内の温湿度状況を変化させようとする要因として、貫流負荷、日射負荷、人体負荷、内部発熱負荷を代表的な負荷である（図 3-2）。

### 3.3 熱負荷計算

その室が取得する熱量を除去したり、損失する熱量を補給するために冷暖房機器が必要となり、それらの熱量を計算（＝熱負荷計算）することにより、冷暖房機器の容量を算出することができます。

図 3-3 にセントラル空調システムと冷暖房負荷全体

を示す。空調室、空調機、熱源機、およびそれらを接続するダクトや配管で構成された基本的な組み合わせが存在します。

図 3-4 に冷暖房負荷分類を示す。暖房負荷を計算する時、一般に照明負荷や人体負荷、更には日射負荷にはプラス要因として働くので、暖房負荷として計上する必要はないと判断し、大きな熱源容量を指向選定する。

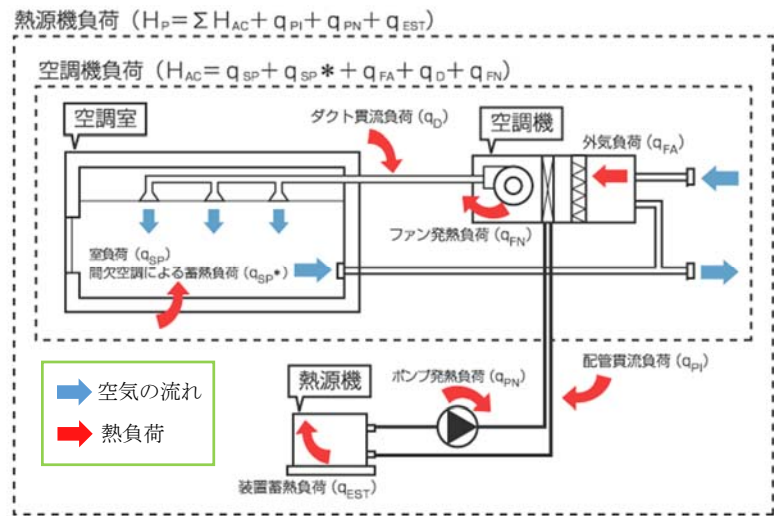


図 3-3 セントラル空調システムと冷暖房負荷

種類	顕熱負荷 SH	潜熱負荷 LH
	Sensible Heat	Latent Heat
貫流負荷	○	—
日射負荷	○	—
照明負荷	○	—
人体負荷	○	○
その他内部発熱負荷	○	○
すきま風負荷	○	○
間欠空調による蓄熱負荷	○	—
外気負荷	○	○
ダクト貫流負荷	○	—
ファン発熱負荷	○	—
再熱負荷	○	—
配管貫流負荷	○	—
ポンプ発熱負荷	○	—
装置蓄熱負荷	○	—

図 3-4 冷暖房負荷分類

出典： <https://www.hptcj.or.jp>

## 4. モデルの概要

### 4.1 中国の熱環境基準による地域分布

中国は国土が広く、気候条件が多様で複雑のため、建築物の熱工学設計（空調冷暖房設計）により、五つの気候地域に分けている（図 4-1）。東北地方と西部地方の一部の厳寒地域、華北地方とに西部地方の一部の寒冷地域、華東地方と揚子江の中、下流地方の夏暑冬寒地域、華南の夏暑冬暖地域と昆明などの温暖地域である。そのぞれ地域気候指標を表 1 に示す。



図 4-1 中国の建築物熱工設計分区図

地区区分	主要基準
厳寒地域	最も寒い月：平均温度 $\leq -10^{\circ}\text{C}$
寒冷地域	最も寒い月：平均温度 $0 \sim 10^{\circ}\text{C}$
夏暑冬寒地域	最も寒い月：平均温度 $0 \sim 10^{\circ}\text{C}$ 最も暑い月：平均温度 $25 \sim 30^{\circ}\text{C}$
夏暑冬暖地域	最も寒い月：平均温度 $>10^{\circ}\text{C}$ 最も暑い月：平均温度 $25 \sim 29^{\circ}\text{C}$
温暖地域	最も寒い月：平均温度 $0 \sim 10^{\circ}\text{C}$ 最も暑い月：平均温度 $18 \sim 25^{\circ}\text{C}$

表 1 規範における建築物の熱工学設計地域区分概要

その中に、夏暑冬寒地域は中国で一番暑い地域である。最も暑い月の平均温度は  $25 \sim 30^{\circ}\text{C}$ 、平均相対湿度は 80% に達す、日平均外気温度  $25^{\circ}\text{C}$  以上の日は年間で 40 から 110 日があり、最も暑い日の最高外気温度は  $41^{\circ}\text{C}$  に達し、蒸し暑いはその地域夏の特徴である。冬に最も寒い月の平均温度は  $0 \sim 10^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度は 80% であり、日照率が低いとその地域冬の特徴であり、人口密度も経済発展も非常に高い地域である。

夏季の暑い日と冬季の寒い日が両方とも長く続くその地域は中国の非暖房地域であり、建築物の冷暖房設計には、あまり断熱性や気密性などを考えなくて、多くの建物が夏の室内温度は  $30^{\circ}\text{C}$  以上、冬は 16 度以下であり、快適さがかけている。近年、生活水準向上とともに快適さが強く求められている、エアコンなど多くの家電製品が急速に普及した。更に現代の建物は大量の窓ガラスを使うより、室内は外気の温度の影響をより受けやすくなり、空調によりエネルギー消費が急に増え続けている。大都市のヒートアイランド現象や電気不足など問題が深刻化にしている。

## 4.2 対象建物の概要

本研究で対象とする建物は日本建築学会環境工学委員会提案の標準モデル建物“オフィス用標準問題”とする。図 4-2 に“オフィス標準問題”基準階平面図を示す。

所在地は浙江省杭州市，構造は RC 造，建物用途は事務所ビルとし，地上 8 階、地下 1 階、階高 3.6m で、東西に事務室，中央に EV ホール，便所等のコアが配置されている。

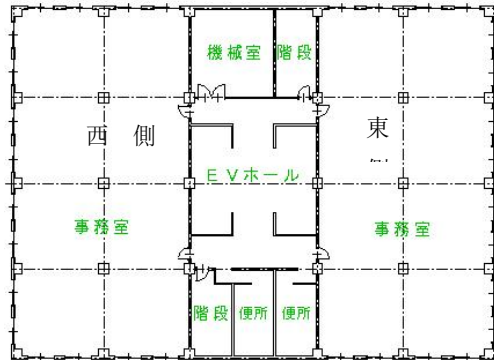


図 4-2 “オフィス標準問題”基準階平面図

建物の仕様	ガラス種類	単板熱線吸収ガラス 6 mm
	外部日除け	なし
	ブラインド種類	中間色ブラインド
	壁材料	外壁：プラスタボード12mm、 フォームポリスチレン25mm、 普通コンクリート150mm、 モルタル20mm、タイル8mm
計算条件	内部発熱	照明：20W/m <sup>2</sup> 人体：0.2人/m <sup>2</sup> 機器：30W/m <sup>2</sup>
	空調時間	8時～18時
	空調条件	夏期：26℃、50% 冬期：22℃、40%
	気象条件	標準気象データ（山形）

表2 建物の仕様と計算条件

外壁の仕様はプラスタボード 12mm+密閉空気層+フォームポリスチレン 25mm+コンクリート 150mm+モルタル 20mm+タイル 8mm とし、窓ガラスは全階 8mm 厚高熱ガラスで、室内側に中等色のブラインドが設置されている。この建物に省エネルギー技術を導入し、シミュレーションにより、CO<sub>2</sub>削減効果を確認する。表 2 に標準とする建物の仕様及び計算条件を示す。

対象建物の空調システムはビル用マルチ方式とる。換気は全熱交換機を用いる。東西に二つの系統を分け、各室に 16 台の室内機と一台の室外機を屋上に設置する。



## 5. シミュレーション方法

### 5.1 シミュレーションソフト

本研究では建物のエネルギー消費量を算出するために、Energy plus ソフトを使用する。本ソフトは建物の外皮及び内部年間熱負荷を細かく計算でき、設備システム、空調ゾーニング、空調ゾーニング、空調機容量及び制御方法など詳細に設定した上で、建物のエネルギー消費量を算出できるツールである。

### 5.2 計算手順

図 4-1 に計算フローを示す。まずソフトに建物の仕様及び計算条件を入力して、建物の年間熱負荷計算を行い、それに見合った空調機器を選定し、その後機器のスペックをソフトに入力し、年間エネルギー消費量を算出する。

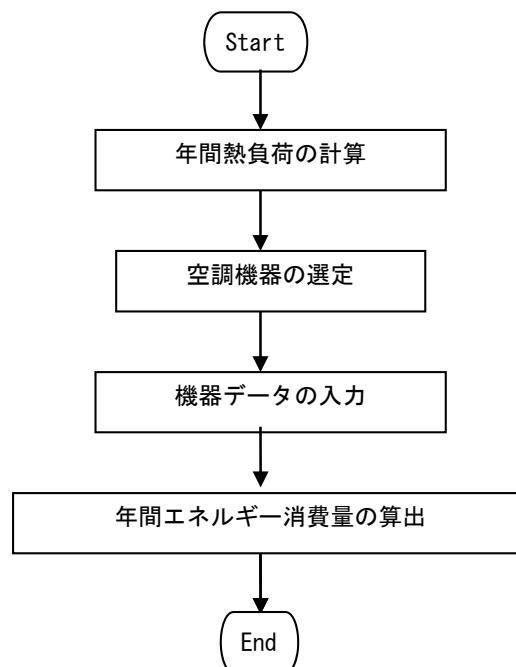


図 4-1 計算フロー

### 5.3 環境技術導入項目

本研究では、表 4 のように、窓ガラス（単板熱吸ガラス、Low-E 複層ガラス、複層高性能反射ガラス）、断熱材厚（25mm、50mm）、庇の有無など変化を対象建物に導入し、シミュレーションにより、CO2 削減効果を確認する。

環境技術導入項目	概要
窓ガラス	単板熱吸ガラス (RC=0.4 K=4.5)
	LOW-E複層ガラス (RC=0.3 K=1.6)
	複層高性能熱反射ガラス (RC=0.1 K=2.3)
断熱材	25mm、50mm
庇	なし、あり (水平庇1.0m)

※下線は標準ケースを示す。

※RC=遮蔽係数、K=熱通過率  $W/(m^2 \cdot K)$

表 4 環境技術導入項目

## 6. これからの勉強

- ① Energy plus ソフトの勉強
- ② 建物外皮の断熱性や日射の遮蔽性能の向上により、エネルギーシミュレーションを行う
- ③ 各環境技術導入時の経済性と環境性を検討する