

# 既存事務所建築における熱源ダウンサイジングと外皮性能向上の併用に向けた実現可能性の検討

## Feasibility Study toward Downsizing Heat Source and Envelope Performance Improvement of Existing Office Building

学生会員 ○本海 優太(北海道大学) 正会員 菊田 弘輝(北海道大学)

正会員 小林 直樹(北海道日建設計)

Yuta MOTOMI\*<sup>1</sup> Koki KIKUTA\*<sup>1</sup> Naoki KOBAYASHI\*<sup>2</sup>  
\*<sup>1</sup> Hokkaido University \*<sup>2</sup> Hokkaido Nikken Sekkei Ltd.

### Abstract

The purpose of this research is to evaluate the effectiveness of implementation both downsizing heat source and envelope performance improvement for office building in snowy cold cities. In the beginning, we create a target analytic model that assumed existing building in snowy cold cities. Because of that, we decide building specification in reference to previous studies. In addition, we decide equipment in reference to peak heat load of BEST program. By using this model, we estimate indoor environment and energy consumption in consideration of downsizing heat source and envelope performance improvement. From the results of analysis, it is cleared that we can downsizing BH 2size and GAR 1size by envelope performance improvement.

### 1 はじめに

熱源容量設計では、設計時に乗じられた余裕率により過剰な熱源容量が選定される場合がある。近年、この過剰設計により熱源効率低下、さらにはエネルギー消費増大が報告されている。過剰設計された熱源機器に対し、熱源ダウンサイジングを行うことで、熱源効率向上の他、イニシャルコストの削減も期待できる。

一方、熱源ダウンサイジングにより空調設備の能力不足が発生すると、室内環境の悪化が懸念される。そこで熱源ダウンサイジングによるイニシャルコストの削減分を外皮性能向上に充てることで、室内環境の維持とコスト削減の両立が実現できると考えた。

本研究では、今後需要拡大が見込まれる既存事務所建築の熱源更新を対象とし、熱源ダウンサイジングと外皮性能向上の併用を促進するため、BESTを用いて省エネ効果と実現可能性の検討を行う(図-1)。

### 2 解析モデル

札幌市に立地し熱源更新を迎えた(築15~30年)、中規模(延床面積2000~10000m<sup>2</sup>)の既存事務所建築を想定し、解析モデルを作成する。試算には最大負荷計算からエネルギー試算までを行える、BEST専門版を用いる。

### 2.1 建物仕様

解析モデルの建物仕様を示す(表-1)。

1)建築規模 札幌市に実在する事務所建築の統計データ<sup>1)</sup>から中央値を求め、階数は7階、延床面積は3500m<sup>2</sup>とする。また階高は4mとし、主方位(南)以外3面に解析モデルと同じ高さの隣棟を想定する。

2)壁体構造 壁体構造の断熱・窓仕様は既往研究<sup>2)</sup>を参考とし、熱貫流率は外壁が0.78W/m<sup>2</sup>K、窓が3.22W/m<sup>2</sup>K(ブラインド有2.65W/m<sup>2</sup>K)とする。また窓面積率は主方位が30%、その他3方位は0%とする。

3)平面計画 天井高は2.7m、各階床面積に対する事務室面積の割合は75%とする<sup>3)</sup>。南面から5mをペリメータ、それ以外をインテリアとする(図-2)。

4)内部発熱 内部発熱条件は既往研究<sup>4)</sup>を参考とし、照明発熱が16W/m<sup>2</sup>、機器発熱が18W/m<sup>2</sup>、在室人数0.15人/m<sup>2</sup>とする。平日における照明点灯率・機器使用率・人員在室率をスケジュールで示す(図-3)。

5)空調・室内条件 寒冷地の実態を踏まえ、最大負荷計算時における空調期間は、冬期が11~4月、中間期が5,6,10月、夏期が7~9月とする。また最大負荷計算時における内部発熱の季節係数は、冬期が0.25、中間期と夏期が1とする(表-2)。



図-1 研究方針

表-1 建物仕様

項目	設定値
建築規模	階数:7階、延床面積:3500m <sup>2</sup> 、階高:4m
隣棟条件	高さ:28m、隣棟間隔2m
壁体構造	外壁 断熱仕様:吹付硬質ウレタンフォーム30mm 熱貫流率:0.78W/m <sup>2</sup> K
	屋根 断熱仕様:押出法ポリスチレンフォーム100mm 熱貫流率:0.34W/m <sup>2</sup> K
	窓 窓タイプ:複層ガラス空気層6mm ガラス種類:透明+透明、ガラス厚さ:8mm 熱貫流率:3.22W/m <sup>2</sup> K(ブラインド有2.65W/m <sup>2</sup> K) 日射取得率:0.69、日射透過率:0.59 窓面積率:主方位30%、その他0%
	天井高:2.7m、各階床面積500m <sup>2</sup>
平面計画	ゾーン床面積:インテリア250m <sup>2</sup> 、ペリメータ125m <sup>2</sup> 共用部構成:階段37%、廊下24%、便所19%
内部発熱	照明発熱:16W/m <sup>2</sup> 、機器発熱:18W/m <sup>2</sup> 在室人数:0.15人/m <sup>2</sup> 、代謝量1.2Met

表-2 空調・室内条件

項目	冬期	中間期	夏期
期間	11~4月	5,6,10月	7~9月
設定温度	22°C	24°C	26°C
設定湿度	40%	45%	50%
着衣量	1.0clo	0.8clo	0.6clo
季節係数	0.25	1	1

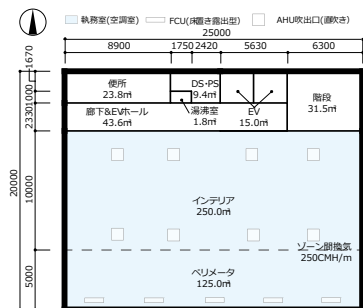


図-2 各階平面図

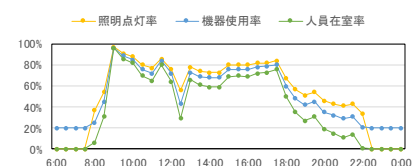


図-3 内部発熱スケジュール

2.2 空調設備仕様

空調設備の機器選定過程を示す(表-3)。

1)二次側空調設備 前節で設定した建物仕様を用いて最大負荷計算を行い、各ゾーンにおける必要能力を算出する。最上階(7階)と中間階(1~6階)の各ゾーンにおける最大室負荷を示す(図-4)。外気負荷とインテリアの室負荷をエアハンドリングユニット(以下、AHU)、ペリメータの室負荷を5台のファンコイルユニット(以下、FCU)が処理する。AHUの選定において、送風量は5100m<sup>3</sup>/h、外気導入量は1700m<sup>3</sup>/hとし、空気線図を用いて必要コイル処理能力を求める。

2)熱源機器 算出した最大負荷を用いて、熱源機器の必要能力・諸元値<sup>5)</sup>を算出する。選定の結果、真空式温水発生機(以下、BH)は定格出力465kW、吸収冷温水機(以下、GAR)は冷凍能力316kWとする。

また熱源容量設計値を示す(図-5)。最大負荷に対する熱源容量の余裕率はBHが32.5%、GARが33.4%となった。BHは諸元値(465kW)と必要能力(452kW)の乖離がほぼ見られなかった一方、GARは諸元値(316kW)と必要能力(283kW)の乖離が多少見られた。

3)空調システム詳細 空調システムを示す(図-6)。冷温水流量はAHUが160L/min、FCUが40L/min、熱源が1400L/min、冷却塔(以下、CT)が2500L/minとする。熱源のスケジュール設定はBHが冬期、GARが中間期・夏期に稼働とする。インテリアから共用部への空気の流出量は約1000m<sup>3</sup>/hと想定する。この際、扉の開閉による流出入は考慮せず、便所の換気(必要換気量40m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>h)による、インテリアからの流出のみ考慮する。

2.3 解析モデルのエネルギー試算結果

1)一次エネルギー消費原単位 前節で設定した空調設備仕様を用いて連成計算を行い、熱源機器の一次エネルギー消費量を算出した。解析モデルの一次エネルギー消費原単位(一次エネルギー消費量/延床面積)は553.6MJ/m<sup>2</sup>年となり、内訳としてBHは340.2MJ/m<sup>2</sup>年で全体の約6割を占めていた。

表-3 機器選定過程

階	ゾーン	処理設備	設置台数 [台]	負荷種別	暖房				冷房			
					最大負荷	必要能力	諸元値	最大負荷	必要能力	諸元値		
					[W/m <sup>2</sup> ]	[kW]	[kW]	[W/m <sup>2</sup> ]	[kW]	[kW]		
7	インテリア	AHU	1	室	79.6	46.4	48.8	-	55.1	24.7	26.0	-
	ペリメータ	FCU	5	外気	66.8	124.2	15.5	17.1	22.6	85.5	10.7	11.8
1-6	インテリア	AHU	1×6	室	55.1	40.9	43.0	-	54.0	24.9	26.2	-
	ペリメータ	FCU	5×6	外気	66.8	76.6	9.6	10.6	22.6	78.6	9.8	10.8
1-7	-	BH	1	装置	-	350.9	446.8	465	-	-	-	-
	-	GAR	1	装置	-	-	-	-	-	287.3	316	-
-	-	CT	-	-	-	-	-	-	-	236.9	440.6	489

\*FCU選定時の必要能力・諸元値は5台全てを集計した値を示している。

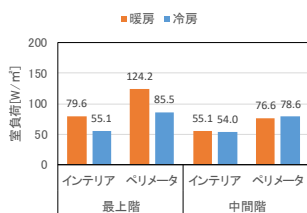


図-4 最大室負荷

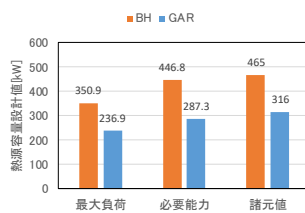


図-5 熱源容量設計値

2)部分負荷率 熱源機器における部分負荷率毎の年間稼働時間を示す(図-7)。なお、部分負荷率は分単位の熱源処理熱量を熱源容量で除することで算出した。また機器特性より、熱源機器は負荷率20%を境に発停制御が行われるものとする。BHは部分負荷率30~35%・60~65%・65~70%で稼働時間が150時間を超えていた。これは冬期の空調立ち上げ時や夜間の時間帯に部分負荷率60~70%となり、日中は部分負荷率30~35%となることが多いためと考えられる。GARは部分負荷率25~30%での稼働時間が150時間を超えていた。これはGARが中間期も稼働しているためである。

3 検討概要

更新熱源機器の適正化と外皮性能向上の促進に向けて、室内環境を維持した上での熱源ダウンサイジングと外皮性能向上の併用による、更なるサイズダウンの実現可能性を検討していく。

1)熱源ダウンサイジング 既存熱源容量からのサイズダウンを検討する。BHとGARそれぞれ5サイズダウンまでの機器容量を対象とする。熱源機器の設定値は実務における機器の離散性を考慮し選定表の諸元値を、インシヤルコストは概算を参考とし、既存熱源容量との比率により求めた(表-4)。インシヤルコストは既存熱源容量でのBHが1000万円、GARが4000万円と想定し試算した。

2)外皮性能向上 外皮性能向上はインシヤルコストの負担から、単独では実施されないとする。そこで、熱源ダウンサイジングによるインシヤルコスト削減により実施可能な省エネ手法であると想定する。既存事務所建築の外皮性能向上手法として、現場施工型後付窓改修を検討する。この手法は屋内から施工可能であり、屋外に足場を組む必要がないため、施工費用を抑えることができる。以上を踏まえ、通常の窓改修における改修費用の半分程度、窓面積1m<sup>2</sup>当たり6万円で改修可能と想定する。改修後の熱的性能と光学的性能は計算により、熱貫流率1.17W/m<sup>2</sup>K、日射熱取得率0.37、日射透過率0.14と求めた。

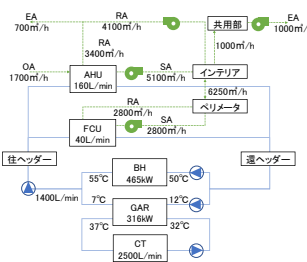
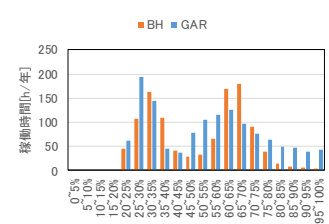


図-6 空調システム



\*発停に伴う損失は考慮していない。

図-7 分単位部分負荷率

表-4 熱源ダウンサイジング

サイズダウン	BH				GAR			
	定格出力 [kW]	ガス消費量 [kW]	消費電力 [kVA]	初期費用	冷凍能力 [kW]	ガス消費量 [kW]	消費電力 [kVA]	初期費用
0	465	517	1.5	1.00	316	259	7.6	1.00
1	349	396	1.0	0.68	281	230	7.6	1.00
2	291	323	0.8	0.62	246	201	7.1	0.87
3	233	262	0.5	0.60	211	173	6.8	0.87
4	186	217	0.5	0.51	176	150	5.8	0.72
5	151	171	0.3	0.51	141	120	5.8	0.57

\*初期費用は概算した値を、既存熱源容量からの比率として示している。

### 4 室内環境評価

外気温から冬期・夏期代表週(平日5日間)を設定する。冬期代表週は2/20~24、夏期代表週は7/3~7とする。評価指標はPMVとし、算出時の風速は0.1m/s、代謝量は1.2Met、着衣量は表2に示した通りとする。

#### 4.1 冬期代表週

1)解析モデル 2/20の最大負荷発生時(8~9時)における処理熱量は、二次側空調設備の合計(AHU+FCU)が最上階で69.7kWh、中間階で54.2kWhとなった(図-8)。特に空調立ち上げ時(8~9時)と定時退社以降(18~22時)に処理熱量が高くなる傾向が確認された。また最上階の積算処理熱量は、中間階に比べ約1.2倍となり、屋根面の熱損失がエネルギー消費に与える影響が確認された。室温に関して、インテリアは概ね22℃を維持していた一方で、ペリメータは20~24℃の範囲で大きく変動が見られた。また空調停止後の室温低下では、基準階と最上階で3℃近く差が見られた。

2)熱源ダウンサイジング BH機器容量毎のPMV度数分布を示す(図-9)。既存熱源容量である465kWのPMV度数分布は、概ね快適推奨域(-0.5≤PMV≤0.5)に収まっていた。151kWではインテリアでも室温維持が困難となり、室内環境悪化が許容できないと想定される。

3)外皮性能向上 外皮性能向上によりペリメータの室内環境で改善が見られた。465kW・349kW・291kWでは概ね快適推奨域に収まっており、PMVが-1.0未満となる時間は全くなかった。151kWでは最上階で室温維持が困難となり室内環境悪化が見られたが、中間階では快適推奨域が8割以上を占めていた。

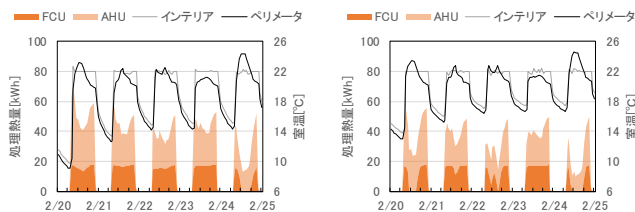


図-8 冬期室温変動 (左：最上階、右：中間階)

#### 4.2 夏期代表週

1)解析モデル 7/7の最大負荷発生時(11~12時)における処理熱量は、二次側空調設備の合計が最上階で43.3kWh、中間階で43.8kWhとなった(図-10)。また最上階と中間階における処理熱量の差異は小さかった。

2)熱源ダウンサイジング GAR機器容量毎のPMV度数分布を示す(図-11)。冬期に比べ快適推奨域の占める割合は全体的に少なかった。

3)外皮性能向上 ペリメータでは0.75≤PMV≤1.0に改善が見られたが、インテリアでは快適推奨域の減少が確認された。これは日射取得が減少した一方、夜間に熱が逃げず、翌朝の室温に影響したことが考えられる。

#### 4.3 更新パターンの検討

以上を踏まえ、更新パターンを作成した(表-5)。

①既存熱源容量 本検討の標準的な更新パターンとする。更新前と同じくBHが465kW、GARが316kWとした。

②室内環境維持 更新前の室内環境を維持できる場合を検討する。主に余裕率で見込んだ機器容量が削減され、BHが291kW、GARが211kWとした。

③熱源容量最小化 代表週において熱源機器の未処理負荷は発生したが、室内環境が許容できる場合を検討する。BHが233kW、GARが176kWとした。

④室内環境維持+外皮性能向上 外皮性能向上により②から更にBHで2サイズダウン、GARで1サイズダウンが可能となり、1BHが186kW、GARが176kWとした。

⑤熱源容量最小化+外皮性能向上 外皮性能向上により③から更にBHで2サイズダウン、GARで1サイズダウンが可能となり、BHが151kW、GARが141kWとした。

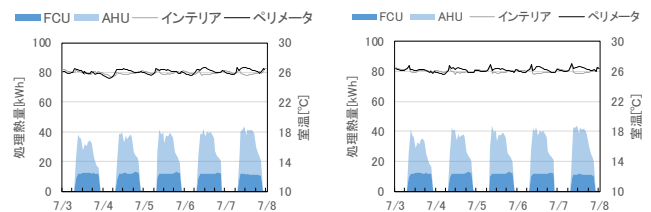


図-10 夏期室温変動 (左：最上階、右：中間階)



図-9 冬期室内環境評価 (上：熱源ダウンサイジング、下：外皮性能向上)

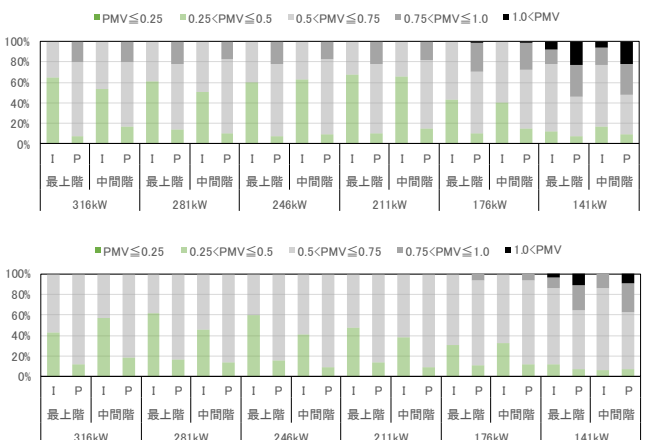


図-11 夏期室内環境評価 (上：熱源ダウンサイジング、下：外皮性能向上)

\*ゾーンの略称として、インテリアはI、ペリメータはPを用いる。

\*PMVは9~22時を対象とし算出している。8時におけるPMVの瞬時値が熱源容量によらず危険な値であったため、8~9時は対象から除いた。

## 5 解析結果

### 5.1 各熱源容量による解析結果

1)一次エネルギー消費原単位 外皮改修前後の年間一次エネルギー消費原単位を示した(図-12)。熱源ダウンサイジングに応じて減少すると想定していたが、BHにおいて349kWは465kWのエネルギー消費を上回っていた。これは機器効率の低下によると考えられる。

2)分単位COP 熱源ダウンサイジングによる機器効率を明らかにするため、分単位COPを示す(図-13)。BHが0.7~0.8、GARが1.2~1.5に分布していた。

### 5.2 更新パターンによる解析結果

各更新パターンについて一次エネルギー消費原単位とライフサイクルコスト(以下、LCC)の結果を考察した。

1)一次エネルギー消費原単位 各更新パターンにおける年間一次エネルギー消費原単位を示す(図-14)。一次エネルギー消費原単位が最も小さい⑤では371.2MJ/m<sup>2</sup>年となり、更新前に比べ33%の削減効果が確認された。BHは外皮性能向上を併用した④⑤で特に大きな削減効果が得られた。また①からの削減率は、②から③への5%よりも、④から⑤への11%の方が大きい。従って、外皮性能向上の併用により、熱源容量最小化への省エネ効果が更に得られることが確認された。

2)LCC ランニングコストの算出年数は15年とした。ガス単位料金は実際の料金体系を参考に算出し、ガス消費量換算係数は40.6MJ/m<sup>3</sup>Nを用いる。各更新パターンにおけるLCCを示す(図-15)。LCCは既存熱源容量の①が12160万円、最も削減効果が見られた⑤が8780万円となり、28%の削減効果が確認された。また②③どちらの場合においても、外皮性能向上を行うことで更なる熱源のサイズダウンが可能で、外皮性能向上に必要な改修費用をインシヤルコストの削減分で半分程度補えることが確認された。また外皮性能向上によるランニングコストの

表-5 更新パターン

case	BH[kW]					GAR[kW]					備考	
	465	349	291	186	151	316	281	246	211	176		141
①	●					●						既存熱源容量
②		●						●				室内環境維持
③			●						●			熱源容量最小化
④				●						●		室内環境維持+外皮性能向上
⑤					●						●	熱源容量最小化+外皮性能向上

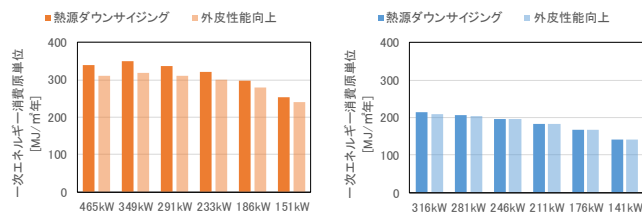


図-12 一次エネルギー消費原単位 (左: BH、右: GAR)

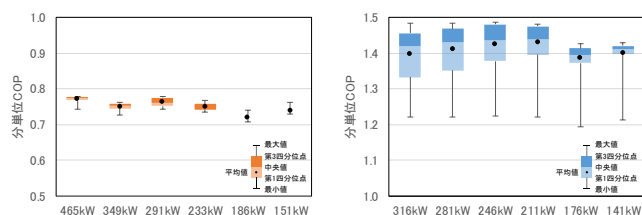


図-13 分単位COP (左: BH、右: GAR)

削減により、LCCでは②から④で約600万円、③から⑤で約1000万円の削減効果が得られた。

## 6 総括

本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1)積雪寒冷都市で熱源更新を迎えた既存事務所建築の既往研究から建物仕様、最大負荷計算による機器選定から空調設備仕様を設定した。熱源容量では最大負荷計算結果から30%以上の割増が確認された。
- (2)冬期代表週(2/20~24)と夏期代表週(7/3~7)を設定し、二次側空調設備の処理熱量と各ゾーンの室温を試算した。冬期の執務時間において、ペリメータの室温変動が設定室温の±2℃程度と大きく、また最上階における空調停止後の室温低下が大きいことが確認された。
- (3)室内環境評価による実現可能性の検討では、熱源ダウンサイジングの選択肢として、更新前とほぼ同等か最低限の室内環境(-1.0 ≤ PMV ≤ 1.0)を維持できる熱源容量を選定すると想定した。また外皮性能向上を併用することで、中規模の既存事務所建築でBHが2サイズダウン、GARが1サイズダウンできる可能性が示された。
- (4)熱源ダウンサイジングに外皮性能向上を併用することで、外皮改修費用の半分程度を熱源機器のインシヤルコスト削減分で補え、LCCは更に600~1000万円近く削減できる可能性が示された。

### 【参考文献】

- 1)札幌市都市計画基礎調査
- 2)本海ら他：積雪寒冷地の中規模事務所建築における運用・投資による省エネ効果の検討，空調調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 第5巻，pp. 181-184，2018. 9
- 3)滝沢博：標準問題の提案(オフィス用標準問題)，日本建築学会環境工学委員会熱分科会第15回シンポジウム，1985年
- 4)浦山ら他：空調システム設計時に見込む設備容量の余裕に関する研究，空調調和・衛生工学会学術講演会講演論文集，pp. 2465-2468，2012. 9
- 5)国土交通省大臣官庁官庁営繕部設備・環境課：建築設備設計基準平成30年度版

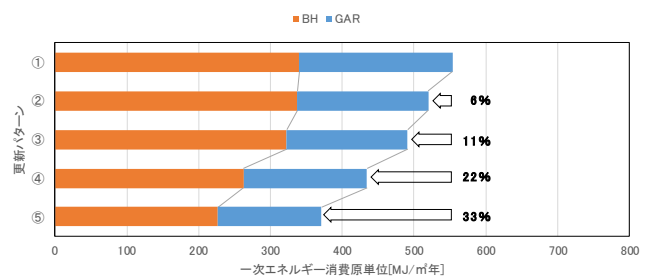


図-14 各更新パターンの一次エネルギー消費原単位

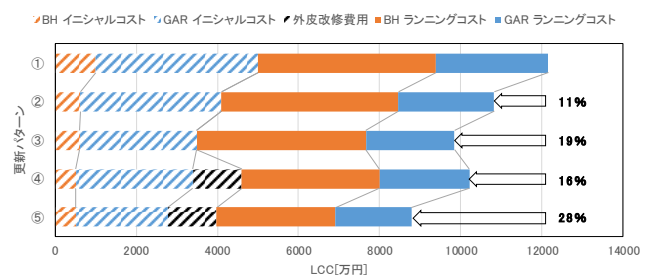


図-15 各更新パターンのLCC