

カーボンニュートラル賞

受賞名称

第8回カーボンニュートラル賞 九州支部

カーボンニュートラル賞選考支部名称

第8回カーボンニュートラル賞選考委員会 九州支部

業績の名称

慈愛会今村総合病院における大規模病院でのZEBとウェルネス両立に向けた取組み

所在地

鹿児島県鹿児島市鴨池新町11-23

応募に係わる建築設備士の関与

株式会社竹中工務店	瀬川 淳
	上田 真也
株式会社三菱地所設計	桑田 誠
	中村 光良

応募者又は応募機関

代表応募者・機関	公益財団法人慈愛会					
建 築 主	公益財団法人慈愛会					
設 計 者	株式会社竹中工務店					
設 計 者	株式会社三菱地所設計					
施 工 者	株式会社竹中工務店					
建物管理者	公益財団法人慈愛会					
建物利用者	公益財団法人慈愛会					
延 床 面 積	24,042		m ²			
階 数	地上8階	地下-階	塔屋2階			
主 用 途	病院					
竣 工 年 月 日	2017年5月					

支部選考委員長講評

鹿児島市で建設する場合の留意事項として、桜島の降灰がある。特に、病院では、特に外気の給排気、屋外設置の設備機器に注意が必要である。こうした、条件のもと、省エネに富んだ設備計画をし、回収年数、約2年というZEBReadyとしている。病院の事費は年々、高額化している感があるが、エネルギー消費量の大きく多様な病院で「ローコストZEB」を満足に導いた努力は称賛できる。エネルギーの基本である、電気設備では、瞬間的に電力消費が上がる放射線系を単独回路とし、超高効率玉アモルフアストランスを用いている。又、電気室を工事的にも電気ロスからも優れた、中間階の4階に設置し、幹線サイズの最小化と、配線ロスを最小化して省エネとコストの縮減に寄与するとともに、結果的にはBCP対策にもなっている。 夜間照明では人間が持っている「昼は明るく、夜は暗いのが当たり前」という考え方を取り入れ、夜間の過剰な照度を調整している。この照度調整は、患者に優しく対応し、スタッフにも夜間の仕事をし易くしながら、省エネに寄与している。 機械設備としては① GHP排熱回収ジェネリンク、② 熱源送水温度制御、③ 夜間外気量制御、④ 給湯設備で中央系統と個別系統の適切配置などが省エネ方法として上げられる。 ① GHP排熱回収ジェネリンクでは今まで廃棄していたGHPの燃焼廃熱をジェネリンクに利用した非常に省エネ効果の大きなシステムを開発し、採用した。コジェネ排熱、太陽熱利用等より冷暖房をGHPと共通時間で使えることも大きなメリットである。 ② 病院では外気負荷や、内部発熱機器が多く、特に冷房負荷冷却の最適運転の留意点が多くなる。今回、特許を得られた、外気温度と空調機処理負荷の最適値を空気線図からマッピングしコイル通過の冷温水温度の最適化を図るシステムは、大きく熱源機、空調機の省エネ運転となっている。 ③ 病院の夜間負荷は日中開院時間の負荷に比べれば大きく減少する。このうち外気量を減少することも可能である事に着目して、外気関係の省エネシステムを考えている。空調機外気量を適正量に絞り、冷暖房負荷減少と熱源機器、搬送動力の減少としている。又、外気温湿度によれば外気冷房に切り替える事も組み込み、年間を通じて、省エネ効果が大きくなっている。 ④ 給湯に関してもセントラル給湯と個別給湯の利点を生かし、熱ロスを抑えた省エネシステムになっている。 上記のような省エネシステムを採用した結果、一般病院のエネルギー使用量（業務用ビルにおける省エネルギー推進の手引きH18年度財務省エネルギーセンターの値）より、実測値として42.5%少なくなった。その後、遠隔BEMSデータの分析で、外調機の運転が想定道理ではなかったということで、今後改善することでより省エネが期待できる施設である。

関与した建築設備士の言葉

計画着手時、今村理事長と星理事から示された大方針は、「スタッフの感性を刺激し、最大限の能力を発揮できる病院」でした。

建築設備計画に与えられた使命は、特に医療環境及びエネルギーとのバランスにおいて、「年間1次エネルギー消費量が2,000MJ/m²以下となる病院」、「十分に暗い病院」を「ローコスト」で達成するという難題でした。

計画では、「ローコストZEB」、「患者だけでなくスタッフにもやさしい照明計画」というゴールを共有し、建物完成まで一貫することを心掛けました。その結果、近年の課題である「働き方改革」、「ウェルネス」にも先駆けた解を提案できる病院となり、慈愛会様にも論文・学会等でご活用頂くなど評価されています。本病院は医学と建築環境工学の融合により生まれた作品です。

医学的・社会的な見地から先見ある助言を頂いた今村理事長と星理事を始め、全ての関係者の皆様に深く感謝申し上げます。

（瀬川 淳 ： 株式会社竹中工務店 ）

業績の名称： 慈愛会今村総合病院における大規模病院でのZEBとウェルネス両立に向けた取組み

■ 業績の概要とカーボンニュートラル化に係わる取り組みの説明

1/4

1. はじめに

病院の特徴として、24時間不規則勤務のスタッフが多いこと、他用途に比べて、エネルギー消費量が多いことが挙げられる。また近年、診療報酬が引き下げられた病院経営の実態もあり、建設費や運用費の「ローコスト化」が病院の急務となっている。一方、病院に対する社会のニーズとして、「安心・安全」、「健康」に加え「働き方改革」という重要課題があり、病院が抱える問題と社会のニーズとの葛藤に悩まされている。

このような背景において、慈愛会今村総合病院は、鹿児島を拠点とする地域の急性期総合型病院として、「高度医療を実践できる機能空間」と「患者だけでなくスタッフにもやさしい空間」となる施設を目指した慈愛会のフラッグシッププロジェクトである。

本病院では、「ローコストZEB」、「患者だけでなくスタッフにやさしい照明計画」、「急性期病院として過不足のないBCP」という基本方針に基づき計画している。

(図1)

環境配慮技術は図1に示すコストパフォーマンスの高い技術を採用することで回収年数が約2年となるZEB Readyとなった。後述する先進的な熱源送水温度制御や照明計画が大幅なイニシャルコスト削減と省エネルギーに寄与した。なおBEI値はBEST改正省エネ基準対応ツールによる計算で0.54、コンセントを除くと0.49であった。

2. 省エネルギーへの取り組み

2-1. 放射線機器への超高効率変圧器の採用

病院の従来の課題として、放射線機器用の単独トランスの超低負荷率運転による損失が大きいたことがあげられる。そこで、本病院では低負荷時に損失が小さい超高効率（アモルファス）変圧器を採用しコストと省エネ効果の最適化を計っている。（図2）

2-2. 電気室の配置と幹線計画の最適化

電気室を中間の4階に配置することで幹線サイズと長さを最小化し、各病室に分電盤を設けることで配線ロスを最小化して省エネと省コストを両立している。

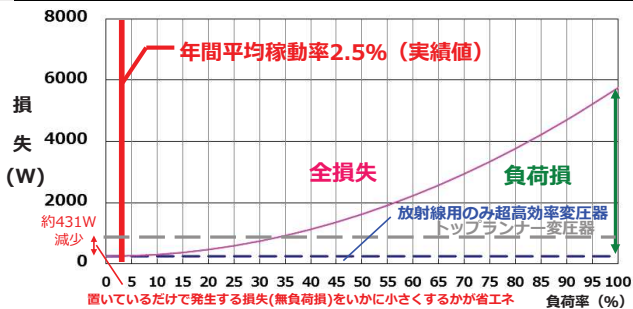


図2. 超高効率変圧器の効果

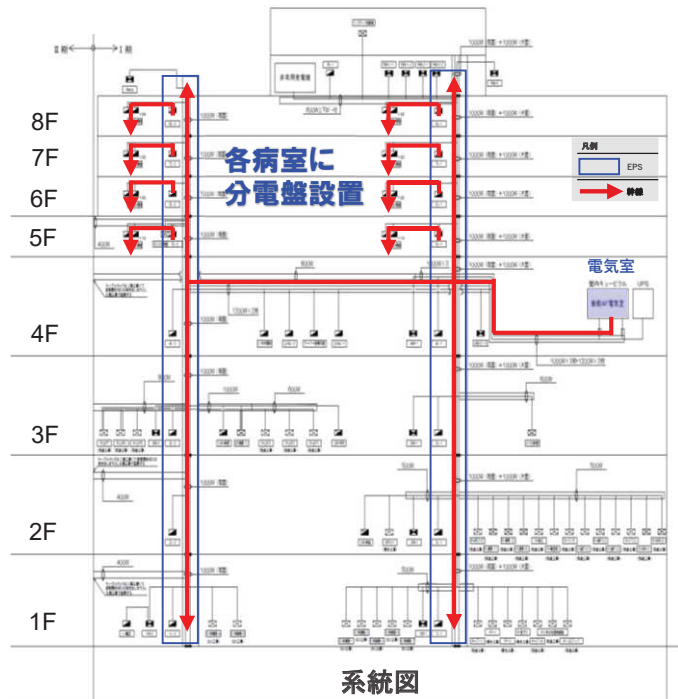


図3. 電気室の適正配置と幹線の効率化

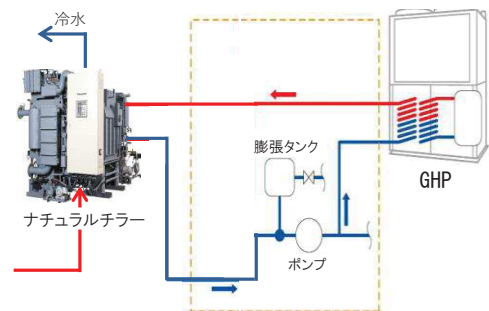


図4. 排熱回収概要

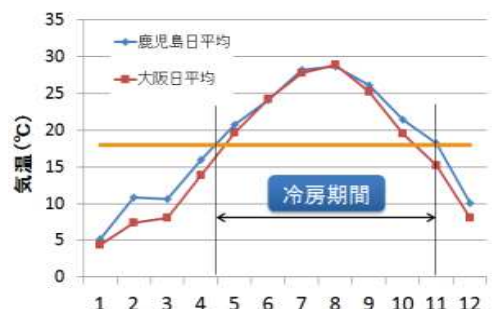


図5. 鹿児島の冷房期間

設計コンセプト

【病院の特徴】

・24時間不規則勤務のスタッフが多いこと、他用途に比べて、エネルギー消費量が多く、建設費や運用費の「ローコスト化」が急務であること。

・「安心・安全」、「健康」に加え「働き方改革」があり、病院が抱える問題と社会のニーズとの葛藤に悩まされていること。



【建築主の要望】

・「高度医療を実践できる機能空間」

・「患者だけでなくスタッフにもやさしい空間」



・「ローコストZEB」による環境配慮

・「患者だけでなくスタッフにもやさしい照明計画」

・「急性期病院として過不足のないBCP」

具体的方策

【BCP対策】

①ヘリポートの設置（ドクターヘリ）
②電気室、サーバー類、受水槽、熱源設備の高所設置
③中圧ガス、高圧予備線の将来対応によるインフラ強化
④空調給湯熱源、外機（病棟・手術室）の2重化
⑤UPS、発電機の設置

【環境配慮技術】

①放射線機器用のみ超高効率変圧器を採用
②電気室の中間階配置による幹線の最適化
③熱源送水温度制御による熱源の効率化
④GHP排熱シェンクによる排熱回収
⑤空調冷温水の大温度差搬送及びインバーター機器
⑥外気処理空調機での外気冷房制御
⑦病棟階の夜間外気量取入制御
⑧中央給湯方式エリアの集約による放熱ロスの低減
⑨医療用ICTサーバーのクラウド化
⑩節水型衛生器具による水資源の節約
⑪遮熱クラウドBEMSの採用

【照明計画】

①スタッフの生体リズムに配慮した照明計画
・「昼は明るく夜は暗いのが当たり前」の考えの導入
・夜間スタッフステーションのタスクアンビエント照明
②エネルギー消費量の削減
・「昼は明るく夜は暗いのが当たり前」の考えの導入
・自然採光と適正照明配置による照明エネルギー削減
・LED照明及びセンサーによる照明制御

図1. 設計コンセプトと具体的方策

2-3. GHP排熱回収ジェネリンク

世界初となるガス式ビルマルチのエンジン排熱を利用したジェネリンクを採用している。外来系統の室内処理を行うガス式空冷ビルマルチ（GHP）のエンジン排熱を温水で取り出し、外気処理用のガス吸収式冷温水機（ジェネリンク）にて排熱回収するシステムである。（図4）建設地である鹿児島市は、冷房期間が長い地域なので、その効果は非常に大きくなる。（図5）

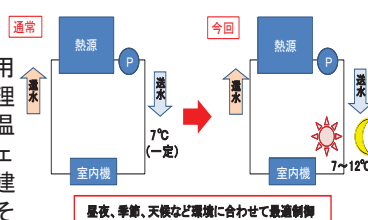


図6. 熱源送水温度制御

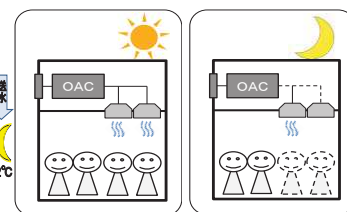


図7. 夜間外気風量制御

2-4. 熱源送水温度制御

外気温湿度と外気処理空調機の特性から逆算を行い、空気線図上のマッピングを作成し、外気温湿度の情報だけで、空調機が能力を満足させることができるぎりぎりの熱源送水温度を設定できるようにした。（竹中工務店特許技術第6577760号）冷房時は7～12℃、暖房時は50～38℃と熱源出口温度を可変させることで、熱源COPの向上と配管からの熱ロス低減による省エネと簡易な制御による省コストを両立させている（図6、13）さらに、インバータによる流量制御と大温度差搬送（10℃差）によるさらなる省エネ化も図っている。

2-5. 夜間外気量制御

夜間の病棟は人員や活動量が減るため日中と同じ換気量を必要としない。そこで夜間は病室の換気扇の強弱制御を利用し給気用VAVと連動させることで夜間外気量取入制御を行っている。（図6）その結果、搬送動力だけではなく熱源の、大きな省エネにつながっている。（図13）また、外気と室内のエンタルピー差にて外気冷房可否判断を行う外気冷房制御も併用することでさらなる省エネを計っている。（図7）

2-6. 給湯設備

浴室やシャワー、特別浴室など給湯使用量の多い部分は中央給湯方式を採用している。熱源として、ガス真空式温水ヒーターと開放型貯湯槽を屋上に設置した。便所、病室の手洗い及び流しなどは局所式とし、貯湯式電気温水器を設置している。その結果、中央給湯方式の配管長を大幅に削減でき、放熱ロスを最低限に抑えることが可能となる。

2-7. 医療用サーバーのクラウド化

病院内では電子カルテや放射線撮影などの画像データを大量に扱うため大容量のサーバーが必要とされる。本病院では大容量の画像サーバー以外をクラウド化し、データ通信量の最小化と冷却用も含めた電力消費量の削減を両立させている。

2-8. 患者だけでなくスタッフにもやさしい照明計画

「エネルギー消費量の削減」、「健康」、魅力的な職場としての「働き方改革」そして「省エネルギー」を実現させるため、「昼は明るく夜は暗いのが当たり前」という考えを照明計画に取り入れた。

まず、内部廊下側にもガラスを用いるなど外光を無駄なく内部まで取り入れる計画とし、合わせて適材適所の照明配置とすることで医療行為に支障をきたすことなく照明器具台数も大幅に削減している。

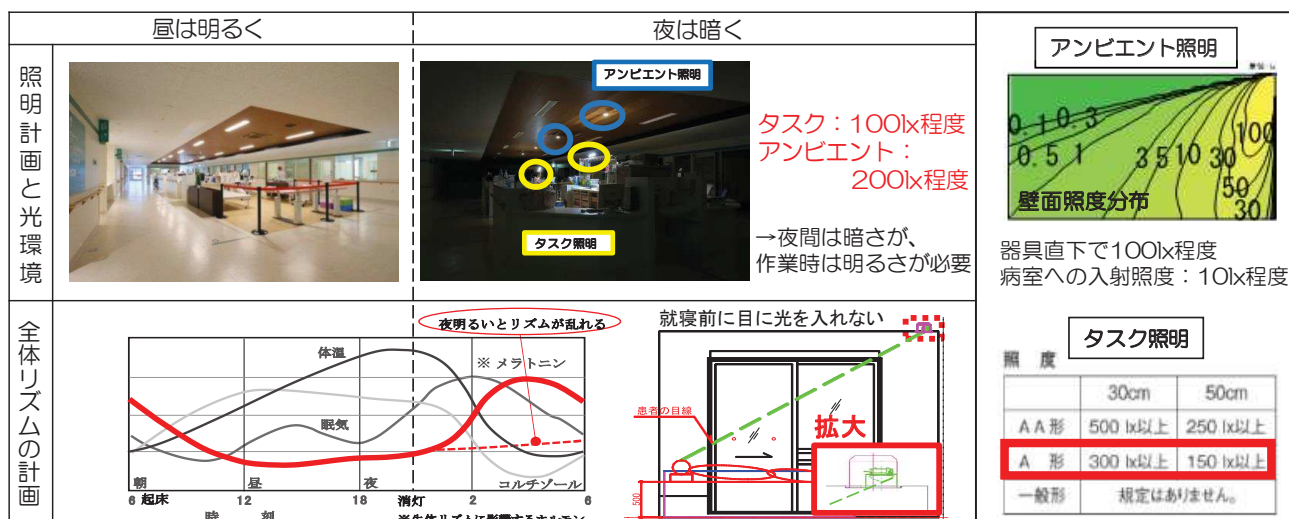
今回イノベティブな照明計画とした病棟では、患者の安心感を与えられるようにスタッフステーションから全病室を見渡せられる看守り病棟とし、病棟とスタッフステーションの間仕切りを大きなガラスとすることで、外部に面した病棟から外光を無駄なく内部まで取り入れる計画としている。逆に夜間においてはスタッフステーションの照明が病室内の患者の睡眠に影響を及ぼさないようスタッフステーションの夜間照度を抑える計画としている。夜間の設定照度はメラトニンを抑制しない照度（長時間120lx、短時間300lx）※1に抑え、かつ作業性に配慮した夜勤用タスクアンビエント照明を採用している。なお患者が夜間便所等を利用する場合の最低限の照明も確保している。その結果、患者だけでなく夜勤を行うスタッフにとってもサーカディアンリズムの形成を狙った病棟としている。（図8）

作業性や明るさ感については竣工後のアンケート及び病棟のインシデントデータにて問題がないことを確認している。合わせて行った自覚症調べ※2では夜間暗い方が有意に良い傾向が見られた。以上より、「省エネルギー」と「患者だけでなくスタッフにもやさしい」照明計画が実現できている。（図14）

【参考文献】

※1 樋口重和：光とヒトのメラトニン抑制：時間生物学Vol.14, No.1：13-20(2008)

※2 酒井一博他：日本産業衛生学会産業疲労研究撰・新版：労働の科学57(5)：295-314(2002)



患者だけでなく夜勤を行うスタッフにとってもサーカディアンリズムの形成を狙った病棟である。病室ではベッド上の患者に対し、ベースライトや隣のベッドの処置灯の光源が目に入らない配置となっている。

図8. 患者だけでなくスタッフにもやさしい照明計画

3. エネルギー使用実績データ分析

3-1. 1次エネルギー消費量実績値

1次エネルギー消費量の実測値は、「業務用ビルにおける省エネ推進の手引き（平成18年度（財）省エネルギーセンター）」における病院の参照値3371[MJ/㎡・年]に対して竣工2年目の実測値は1938[MJ/㎡・年]となり42.5%の削減率であった。病院より受領した稼働率は約87%と高いにも関わらず、一次エネルギー消費量は2000[MJ/㎡・年]を下回っていることから、採用した省エネ技術による効果が発揮されている（図9）

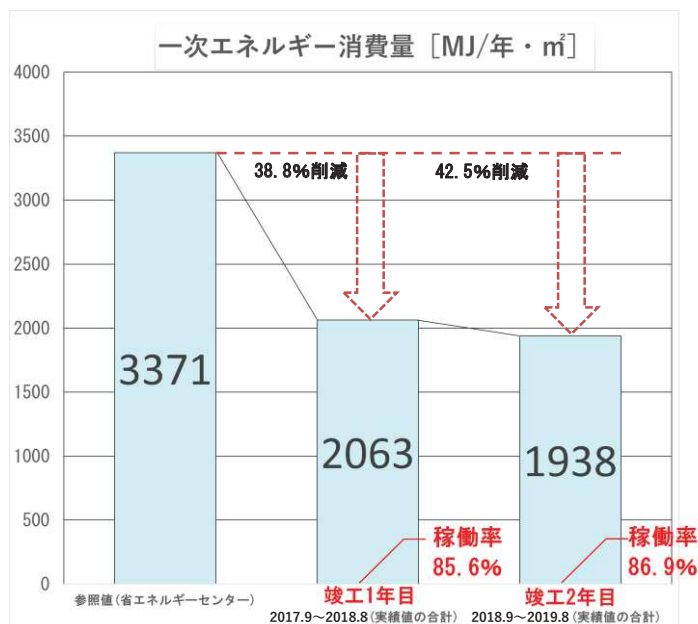


図9. 一次エネルギー消費量の実績値と参照値の比較

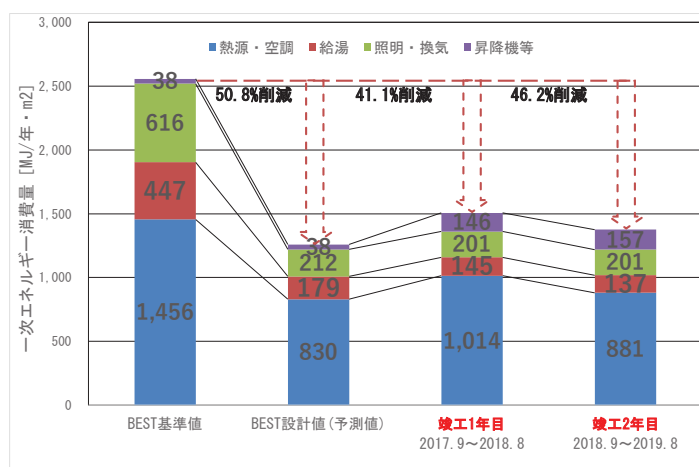


図10. 単位床面積あたりの1次エネルギー消費量の実測値

3-2. 省エネルギー効果の検証

本計画では、BEST改正省エネ基準対応ツールによる計算でBEI値が0.49（コンセント抜き）のZEB Readyとなった。この計算結果との比較を行うことで各手法の効果について分析する。

図10に遠隔BEMSで自動演算された2017年9月から2018年8月（竣工1年目）までと2018年9月から2019年8月（竣工2年目）までの2年分の年間1次エネルギー消費量の実績値とBESTにおける基準値及び計算値の比較を示す。竣工2年目の削減効果の内訳は、「熱源・空調」は39.5%、「給湯」は69.4%、「照明・換気」は67.4%で全体で46.2%であった。なお、「照明・換気」は予測値通り、「給湯」は予測値を下回った。一方、「熱源・空調」は1年目から2年目で削減しているものの予測値より大きくなっている。なお「昇降機等」が予測値よりも大きい理由は、実績値に、一部コンセントやポンプなど計測上分離できていないものを含んだためである。

3-3. フォルト検知と改善提案の実施

今回「熱源・空調」の削減効果が予測より小さかったことから、遠隔BEMSデータを用いてフォルト検知を実施した。その結果、外調機が想定通りの運転になっていなかったことが発覚した。

図11に今回の外来の外調機系統図を示す。診察料毎で電子式CAVを設けて、外来診察が終了したら換気を手動でOFFしてもらう方式としている。想定通りの使い方がされていれば休日及び夜間は外調機のインバータ周波数が低下するはずである。そこで病院側に外来診察が終了時にCAVのOFF（全閉）を徹底してもらう運用改善提案を実施した。図12に改善提案実施日前後の外調機のインバータ周波数の時系列変化を示す。インバータ周波数の平均値が下がり無駄な運転が削減できていることが分かる。この行為が、竣工1年目から2年目の「熱源空調」の削減量が増えた要因の1つと考えられる。

一方、「熱源・空調」の削減効果が予測値より低いため、引き続きフォルト検知を行いZEB Readyを達成させる。

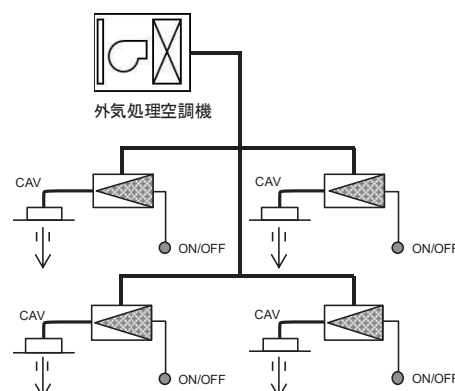


図11. 外来の外気処理系統図

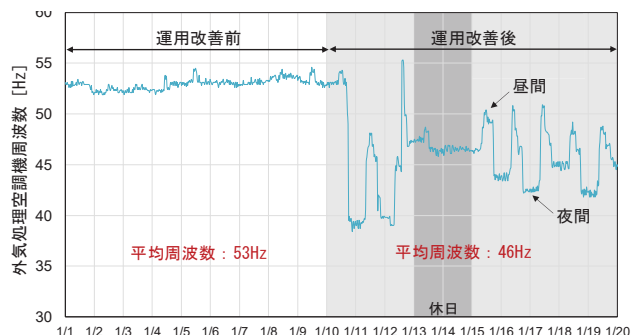


図12. 外気処理空調機のインバーター周波数

先進的省エネルギー技術の検証について

■制御方法

熱源送水温度の最適値を空調機特性から逆算
→空気線図上のマッピングを作成
(計算ではなく閾値によるプロット)
→外気温度と湿度の入力だけで、最適な熱源
送水温度を設定

■具体的手順

①代表空調機選定
コイル余裕率が最小の空調機

系統名	風量 m³/h	静圧 Pa	コイル1				余裕率		決定 列数
			冷水量 L/min	温水量 L/min	計算列数 冷	計算列数 熱	冷	熱	
OAC-1-1	48,230	1,050	747	1,015	5.42	7.57	47.5	5.7	5
OAC-1-2	3,250	650	52	68	5.01	6.11	39.7	14.6	7
OAC-2-1	3,400	750	74	81	7.78	10.17	41.4	8.2	11
OAC-3-1	11,000	1,050	109	81	5.99	1.74	0.2	244.5	2
OAC-3-2	11,000	1,050	266	143	9.87	2.71	3.4	289.0	10
OAC-3-3	10,900	800	234	215	7.81	5.80	1.1	42.9	8
OAC-4-1	18,700	800	291	351	6.32	5.61	12.8	7.0	6
OAC-5-1	44,600	900	690	887	4.87	5.39	37.3	11.3	6
OAC-8-1	6,100	1,000	133	78	7.40	2.45	5.11	228.5	5

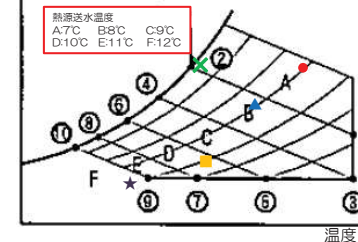
冷房代表機

暖房代表機

■具体的手順

②空気線図上のマッピング作成
外気温度のみで送水温度を最適化

気中水分



記号	外気温度 (°C)	外気湿度 (%)	領域	送水温度 (°C)	季節
●	35	50	A	7	真夏の昼間
▲	30	50	B	9	真夏の夜間
×	25	90	A	9	梅雨
△	25	40	D	10	からっとした中間期
★	22	40	F	12	涼しい日

ゾーン	A	ゾーン	C	ゾーン	E
	DB(°C) WB(°C)		DB(°C) WB(°C)		DB(°C) WB(°C)
①	23.4 22.8	⑤	20.0 19.4	⑨	15.4 14.9
②	34.5 22.9	⑥	32.7 19.5	⑩	19.4 14.9

→暖房は加温負荷を見込み同様に作成

■送水温度の出現頻度（ヒストグラム）実績値

→冷水コイルに余裕がないが10℃以上の頻度高

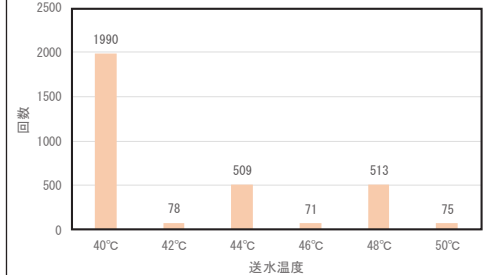
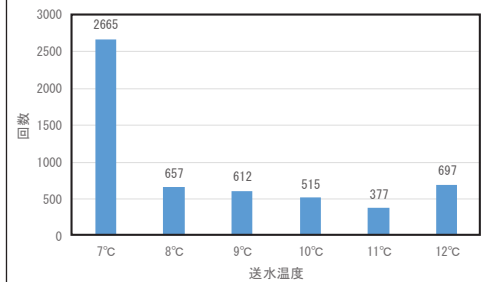
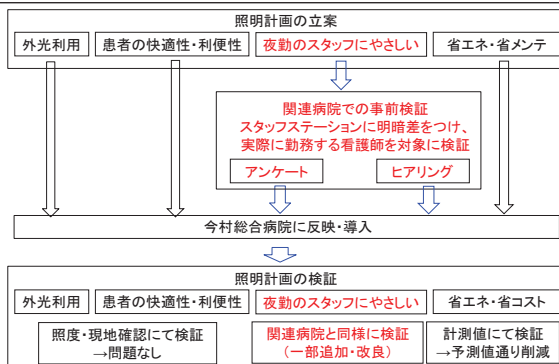
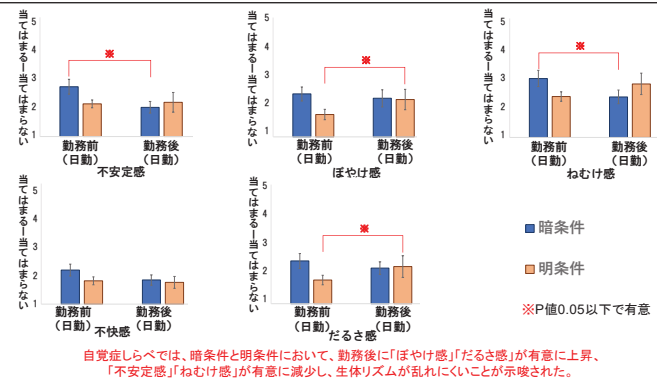


図13. 熱源送水温度制御について

■照明計画の導入検証フロー



■今村総合病院での自覚症調べの勤務前後比較（日勤）



自覚症しらべでは、暗条件と明条件において、勤務後に「ぼやけ感」「だるさ感」が有意に上昇、「不安定感」「めまぐるしさ」が有意に減少し、生体リズムが乱れにくいことが示唆された。

■明暗条件における検証結果のまとめ

関連病院での事前調査
(明暗差4倍)

		暗		明		P値
		N値	平均値	N値	平均値	
アンケート	明るさ感	19	2.62	19	3.47	0.002
	満足度		2.86		2.63	0.617
	作業性		2.90		3.21	0.366

今村総合病院での調査
(明暗差1.5倍)

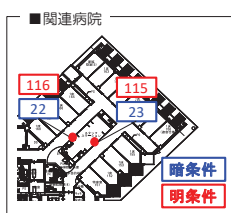
		暗		明		P値
		N値	平均値	N値	平均値	
10	明るさ感	10	2.71	10	2.90	0.597
	満足度		3.36		3.13	0.282
	作業性		3.07		3.4	0.159

		暗(夜勤)				明(夜勤)			
		N値	平均値		P値	N値	平均値		P値
			勤務前	勤務後			勤務前	勤務後	
※自覚症しらべ	不安定感	22	1.61	1.84	1.000	18	1.94	2.53	1.000
	不快感		1.52	2.11	1.000		1.84	2.88	0.044
	ぼやけ感		1.41	2.18	0.115		1.63	2.80	0.003
	だるさ感		1.63	2.55	0.029		1.58	2.61	0.023
	めまぐるしさ		1.89	3.28	0.001		1.86	3.66	0.000

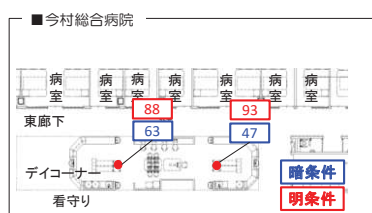
有意に上昇
有意に減少
まぶしさのない
明暗差で検証

		暗(日勤)				明(日勤)			
		N値	平均値		P値	N値	平均値		P値
			勤務前	勤務後			勤務前	勤務後	
11	明るさ感	11	2.67	1.98	0.003	8	2.10	2.15	0.835
	満足度		2.13	1.8	0.706		1.78	1.73	0.202
	作業性		2.44	2.29	0.411		1.75	2.25	0.023
	だるさ感		2.44	2.20	0.271		1.80	2.25	0.081
	めまぐるしさ		2.98	2.36	0.037		2.38	2.80	0.206

■今村総合病院位における明るさ感・光環境満足度・作業性の明暗比較（夜勤）

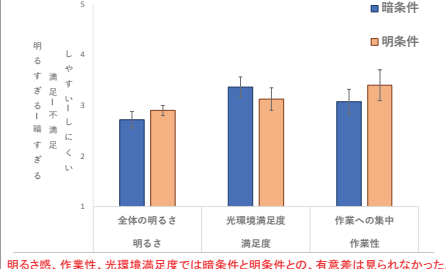


明暗差を4倍程度確保した条件で検証



まぶしさによる影響がないように、明暗差を1.5倍程度確保した条件で検証

■今村総合病院位における明るさ感・光環境満足度・作業性の明暗比較（夜勤）



■インデント発生件数

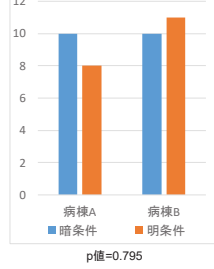


図14. 患者だけでなくスタッフにもやさしい照明計画の検証