

講義室の空調制御と 快適さの指標

長崎大学工学部 機械システム工学講座

山口朝彦

動機

❖ 講義室の空調制御

- キャンパス電力負荷の平準化と省エネ

❖ 快適さの指標

- あやふやなものの測定と数値化

キャンパスの省エネと電力負荷平準化

- 省エネルギー法による目標

(第1種エネルギー管理指定工場)

エネルギー消費原単位を中長期的にみて
年平均1パーセント以上低減させる

- 契約電力超過による違約金

省エネ

- キャンパスエネルギー監視システム
 - データの集計と省エネ対策の提案

電力負荷の集中回避

- 夏期の空調(冷房)運転
 - 夏期休暇の時期変更 → 空調負荷の増大
 - 学生顧客主義 → 空調停止は ×



講義室の空調制御

長崎大学機械システム工学科の若手の懇話会

- 理科系の減少(全国、特に九州)
- 志願倍率の低下
- 海外の大学の機械工学科の動向
- 予算獲得に向けてのコラボレーション

研究テーマ探し...

- 人間の肝臓の触感 ← 技術の伝承
- 美容と匂い ← 不快な匂いの除去
- 食感 ← おいしいの $+\alpha$
- 空調制御のための指標 ← 温度だけ？

あやふやなものや人間の感覚を測る、数値化

空調 ← 快適さの欲求



温度調節(寒暖)

風向調節(上下左右)

風量調節(強弱)

温度 = 快適さ？

ボルダーでは気温30°Cでも
涼しく感じた...湿度？

快適さの指標

ルームエアコンの性能

冷房時 10 畳程度

3階建住宅対応
長尺配管15m 最大高低差12m

3 []

希望小売価格 **367,500**円 (税抜 350,000円)

室内: F28JTRXS-W(-C) 147,000円 (税抜 140,000円)
室外: R28JRXS 220,500円 (税抜 210,000円)

室内: 高さ315×幅890×奥行239mm 室外: 高さ693×幅795(+63)×奥行285mm

畳数のめやす	能力 (kW)	消費電力 (W)
暖房 7~9 畳 (12~15㎡)	3.2(0.6~7.7)	485(95~1,970)
冷房 8~12 畳 (13~19㎡)	2.8(0.6~4.0)	440(95~860)

消費電力量のめやす	暖房時(月あたり)	冷房時(月あたり)	期間合計(年間)
	115kWh/月	60kWh/月	850kWh

目標年度	省エネ基準達成率	通年エネルギー消費効率
2010年度	100%	6.6

室内電源タイプ (準100V・⑨・20A)
連絡電線本数 3本
冷媒配管接続径 液φ6.4・ガスφ9.5

[寸法フリー]

冷暖房共に おもに 10 畳

(単相100V・プラグ形式 ㊲)

室外 MUZ-ZW288

[寸法規定]

目標年度	省エネ基準達成率	通年エネルギー消費効率
2010年度	108%	6.3

目標年度	色	期間消費電力量	配管長	高低差
2004年度	クリアホワイト (W) ・ クリアブラウン (T)	891kWh	12m	10m

※オープン価格

	畳数のめやす	能力(kW)	消費電力(W)
暖房	8~10畳(13~16㎡)	3.6 (0.3~7.6)	630 (55~1965)
冷房	8~12畳(13~19㎡)	2.8 (0.3~4.0)	530 (55~950)

通年エネルギー消費効率 > 6

省エネ法とルームエアコン

(エネルギーの使用の合理化に関する法律)

トップランナー基準

エネルギー多消費機器のうち省エネ法で指定するものの省エネルギー基準を、
各々の機器において、基準設定時に商品化されている製品のうち最も省エネ性能
が優れている機器の性能以上に設定する



②2010年度以降の各年度

冷房能力	区分		基準エネルギー消費効率(APF)
	室内機の寸法タイプ	区分名	
3.2kW以下	寸法規定タイプ	A	5.8
	寸法フリータイプ	B	6.6
3.2kW超 4.0kW以下	寸法規定タイプ	C	4.9
	寸法フリータイプ	D	6.0

備考 「室内機の寸法タイプ」とは、室内機の横幅寸法800ミリメートル以下かつ高さ295ミリメートル以下の機種を寸法規定タイプとし、それ以外を寸法フリータイプとする。

「トップランナー基準早わかり」 経済産業省資源エネルギー庁、財団法人省エネルギーセンター、2006 より

エアコンの性能向上

1. 熱交換器の性能向上
2. 制御系の性能向上(インバータ化など)
3. 流体機械の性能向上
4. 冷媒の性能向上
5. 理論サイクルのCOP向上



長崎大学
NAGASAKI UNIVERSITY

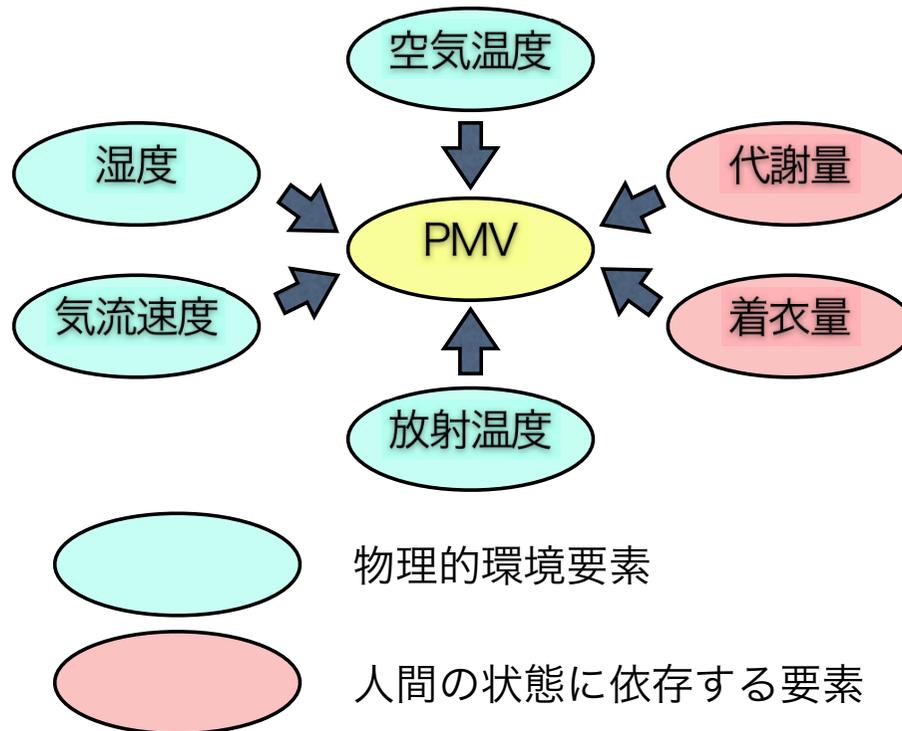
快適さの指標

温熱環境に関する快適さの指標

- SET*(Standard New Effective Temperature 新標準有効温度), A. P. Gagge, et al., [ASHRAE](#)
- ET*(New Effective Temperature 新有効温度), A. P. Gagge, et al.
- PMV(Predicted Mean Vote 予想温冷感申告), O. Fanger, [ISO-7730](#)
- PPD(Predicted Percentage of dissatisfied 予測不快者率)
- THI(Temperature Humidity Index 不快指数)
- WCI(Wind Chill Index 風力冷却指数), Siple and Passel
- TSI(Thermal Sensation Index 温冷感指数)

PMV, PPD

ISO-7730: $-0.5 < PMV < 0.5$ を推奨
(PPD < 10%)



PMV
+3 (Hot)
+2 (Warm)
+1 (Slightly warm)
0 (Neutral)
-1 (Slightly cool)
-2 (Cool)
-3 (Cold)

温冷感試験

試験条件 (3×3=9回)	室温[°C]	相对湿度[%]
	20	30
	24	50
	28	80

試験時期：平成20年2月

場所：人口気象室

被験者数：4人

被験者：学生

被服量：約1clo



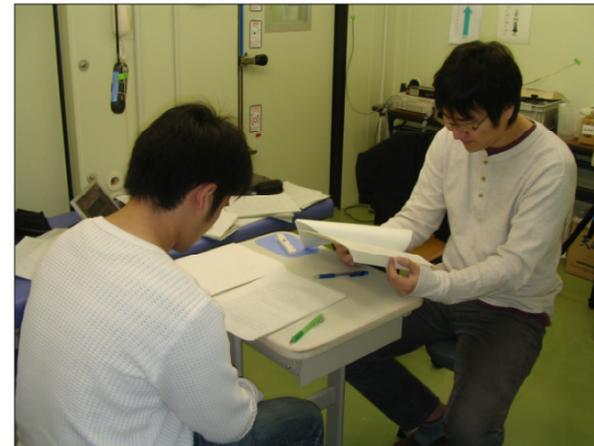
試験内容

- 講義中を想定(読書、パズルなど)
- アンケートを実施

温冷感(7段階) 寒い ⇔ 暑い

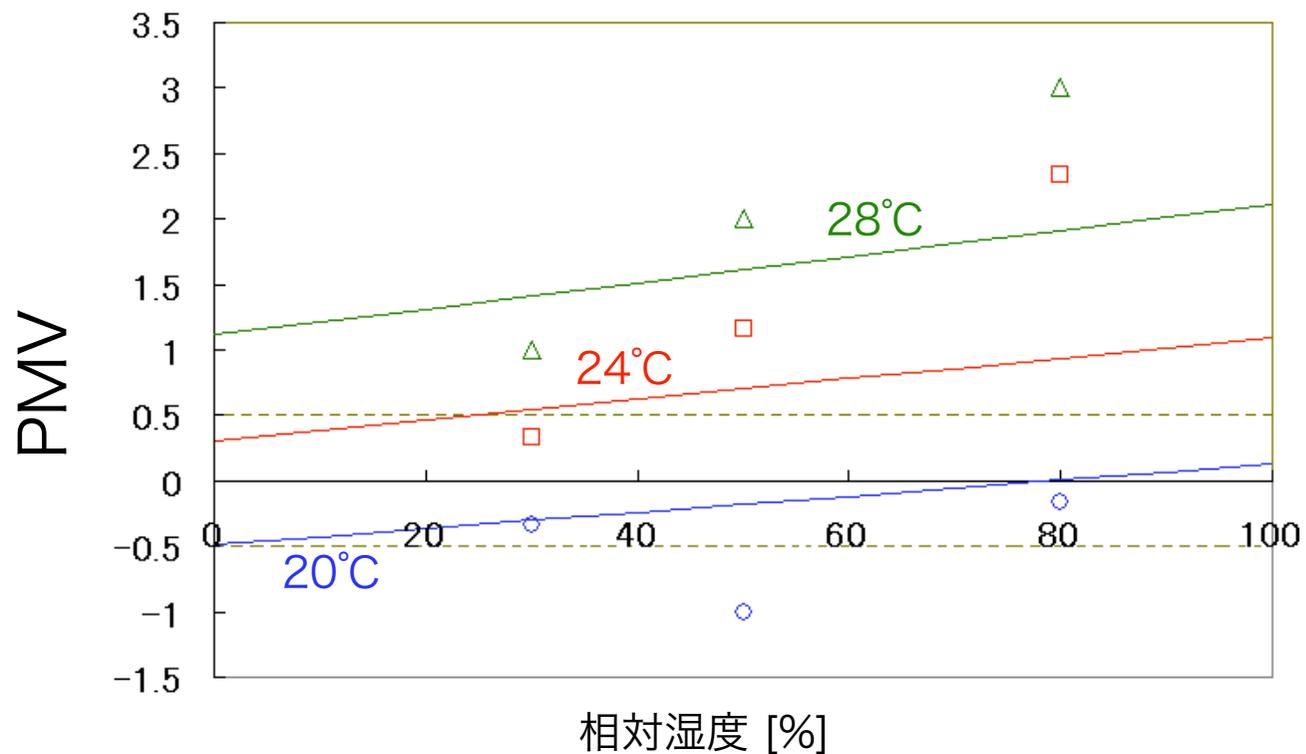
湿乾度(7段階) ひどく乾燥している ⇔ ひどく湿気ている

不満度(6段階) まったく感じない ⇔ とても不満



人工気象室内の様子

予測PMVとの比較



温熱環境においては、一般的に...

- 快適性に最も影響があるのは温度
- 代謝量が大きいと湿度の影響が増す
- PMVは温冷感としてしか評価していない
- 高湿度域ではSET*も湿度のずれが大きい

考察

- PMVは高温・高湿度域では快適さの指標としては不十分
(デンマークだから?)
- SET*も高湿度域の精度が不十分
(ASHRAEだから?)

高温・高湿度の日本(九州)では、湿度も
快適さの重要なパラメータ

平成20年データ (長崎海洋気象台)

		日最高気温[°C]	平均湿度[%]
6月	上旬	25.0	73
	中旬	25.7	82
	下旬	26.0	81
7月	上旬	29.6	77
	中旬	32.1	73
	下旬	33.4	72
8月	上旬	34.1	67
	中旬	32.1	75
	下旬	30.1	72
9月	上旬	31.2	69
	中旬	29.0	77
	下旬	29.2	78

- 湿度が気になる気温
- PMVやSET*は苦手な領域



長崎大学
NAGASAKI UNIVERSITY

講義室の空調制御

(安静時のルームエアコン)

エアコンの制御

制御パラメータ

温度 (省エネ努力目標 : 28°C)

風量 (省エネ努力目標 : 弱or中)



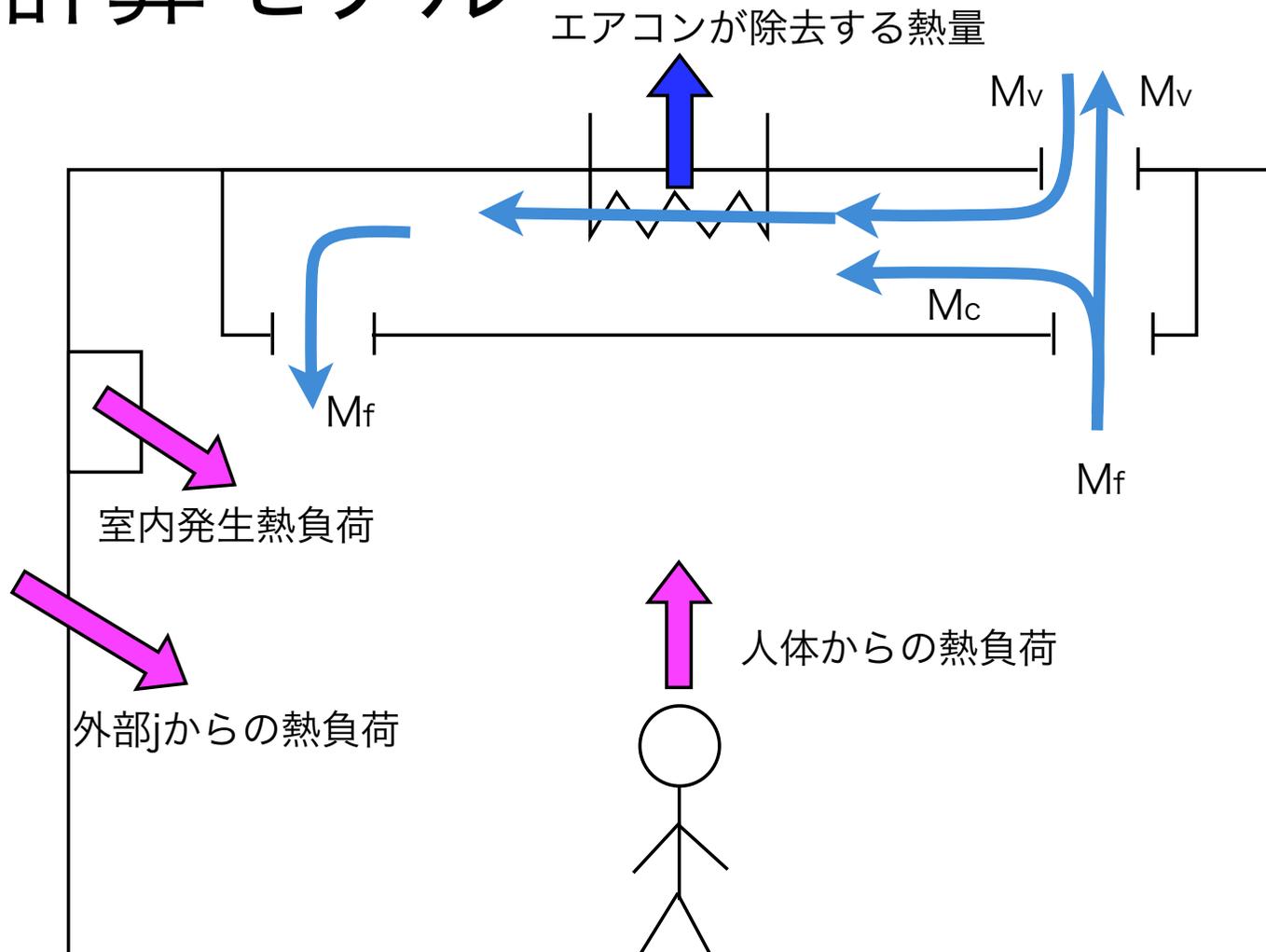
湿り空気による エアコン運転シミュレーション

外気温度	35 °C
外気湿度	75%

エアコン 設定温度	28 °C
	24 °C
	20 °C

冷媒温度 ⇔ 消費エネルギー、相対湿度、成績係数

計算モデル



省エネ法とルームエアコン

(エネルギーの使用の合理化に関する法律)

トップランナー基準

エネルギー多消費機器のうち省エネ法で指定するものの省エネルギー基準を、
各々の機器において、基準設定時に商品化されている製品のうち最も省エネ性能
が優れている機器の性能以上に設定する



②2010年度以降の各年度

冷房能力	区分		基準エネルギー消費効率(APF)
	室内機の寸法タイプ	区分名	
3.2kW以下	寸法規定タイプ	A	5.8
	寸法フリータイプ	B	6.6
3.2kW超 4.0kW以下	寸法規定タイプ	C	4.9
	寸法フリータイプ	D	6.0

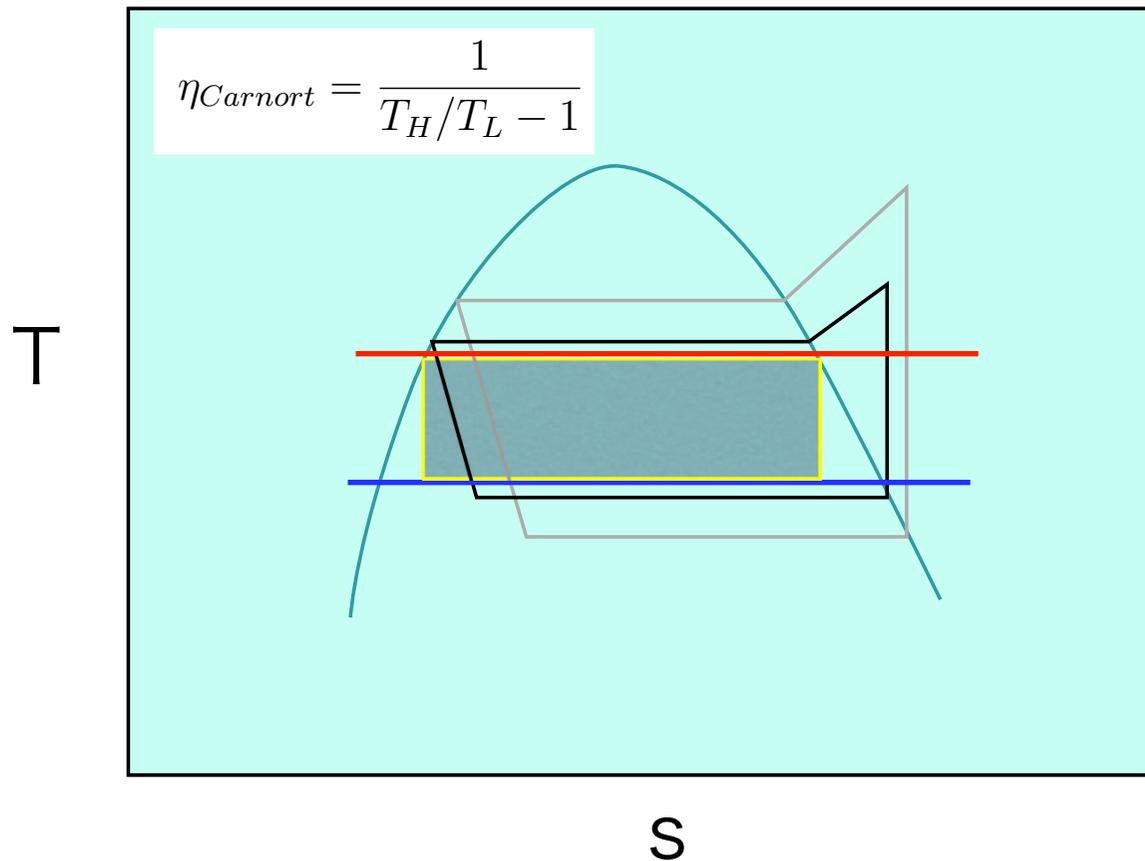
備考 「室内機の寸法タイプ」とは、室内機の横幅寸法800ミリメートル以下かつ高さ295ミリメートル以下の機種を寸法規定タイプとし、それ以外を寸法フリータイプとする。

「トップランナー基準早わかり」 経済産業省資源エネルギー庁、財団法人省エネルギーセンター、2006 より

エアコンの性能向上

1. 熱交換器の性能向上
2. 制御系の性能向上(インバータ化など)
3. 流体機械の性能向上
4. 冷媒の性能向上
5. 理論サイクルのCOP向上

冷凍サイクルのT-s線図



冷媒温度が熱源
温度に近いほど
COPは大きい

考察

一定の設定温度において、

熱交換器の性能向上 → 蒸発器ピンチ温度の減少

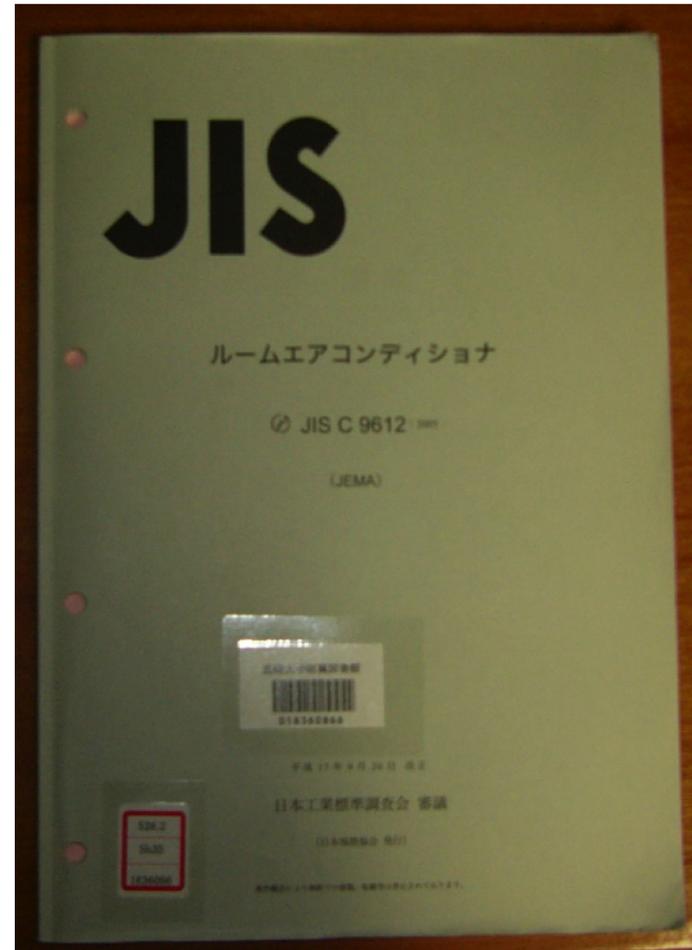
→ 冷媒温度の上昇 → COPの向上

だとすると、

1. COPの高いエアコンは湿度が下がらない
2. 同じ設定温度でも、蒸し暑く感じる
3. 設定温度を下げる
4. 結果的に、省エネにならないかも...

エアコンの性能試験

- JIS B 8615-1
 - 冷房能力
- JIS C 9612
 - 通年エネルギー消費効率



冷房能力試験条件

定格運転 JIS B 8615-1: 1999

室内側吸込空気温度 [°C]		相对湿度
乾球温度	27	46%
湿球温度	19	(0.0105)
室外側吸込空気温度 [°C]		相对湿度
乾球温度	35	40%
湿球温度	24	(0.0143)

JIS B 8615-1 ← ISO 5151

通年エネルギー消費効率

附属書 4 表1 冷房期間中冷房を必要とする各温度の発生時間(全国平均) JIS C 9612: 2005

温度区分	外気温度 [°C]	発生時間 [h]	温度区分	外気温度 [°C]	発生時間 [h]
1	24	158.2	9	32	51.5
2	25	181.6	10	33	26.9
3	26	184.7	11	34	14.3
4	27	178.7	12	35	5.6
5	28	147.3	13	36	1.5
6	29	114.1	14	37	0.7
7	30	93.8	15	38	0.1
8	31	79.6	計		1 238.6

冷房期間エネルギー消費効率

$$CSPF = \frac{\sum_{j=1}^{15} \Phi_{cr}(t_j)}{\sum_{j=1}^{15} P_c(t_j)}$$

$\Phi_{cr}(t_j)$ 冷房期間中に発生する外気温度 t_j において、その発生時間内に建物を冷房するために要する熱量(Wh)
(JIS B 8615-1の冷房能力試験のデータを利用)

$P_c(t_j)$ 冷房期間中に発生する外気温度 t_j において、その発生時間内に建物を冷房するために要した消費電力量(Wh)
(JIS B 8615-1の冷房能力試験のデータを利用)

ご静聴ありがとうございました

湿り空気の計算

<http://www2.mech.nagasaki-u.ac.jp/PROPATH/>