

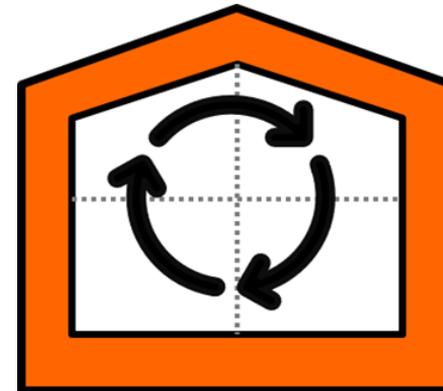
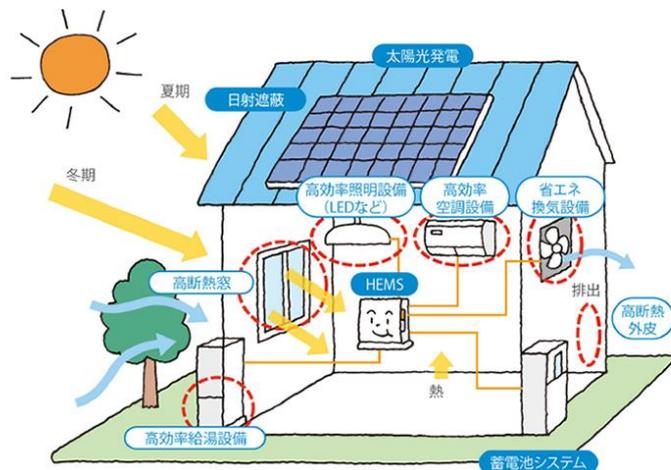
良い暮らしを実現する住まいとカーボンニュートラル

今日の話題

1. 「良い暮らしを実現する住まい」とは？
2. カーボンニュートラルの行方は？
3. 省エネは良い暮らしとカーボンニュートラルを実現する
(高断熱化、全熱交換換気、全館空調)

坂本雄三(東京大学名誉教授)

1. 「良い暮らしを実現する住まい」とは？



「良い暮らし」は「良い住まい」から(必要条件)

- 各自が思う「良い暮らし」を人に押し付けることはできない。
- しかし、「良い暮らし」には「良い住まい」が必要くらいは言えそう。



「良い暮らしの実現」には「省エネ・脱炭素」も必須

「良い暮らし」にはエネルギーや材料が必要になる
→そのため、省エネ・脱炭素が必須になる

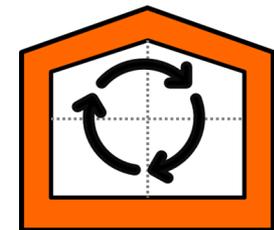
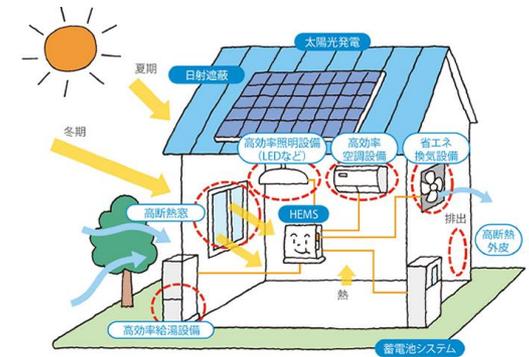
良い暮らし
well-being
wellness

省エネ・脱炭素
saving energy &
carbon neutral

優れた外皮と設備

excellent envelope & energy system

- ①高断熱（等級6・7）
- ②ZEH
- ③全館空調



優れた建材・住宅設備による「良い暮らし」を考える

「良い暮らし」を学術的に定義することは不可能。しかし、各自が実現可能な「良い暮らし」を定めることは可能である。ここでは、ここ20～30年で大きな技術革新をとげた建材や住宅設備による「良い暮らし」を考えてみる。

窓

暖冷房・換気

給湯・浴室

照明

厨房設備

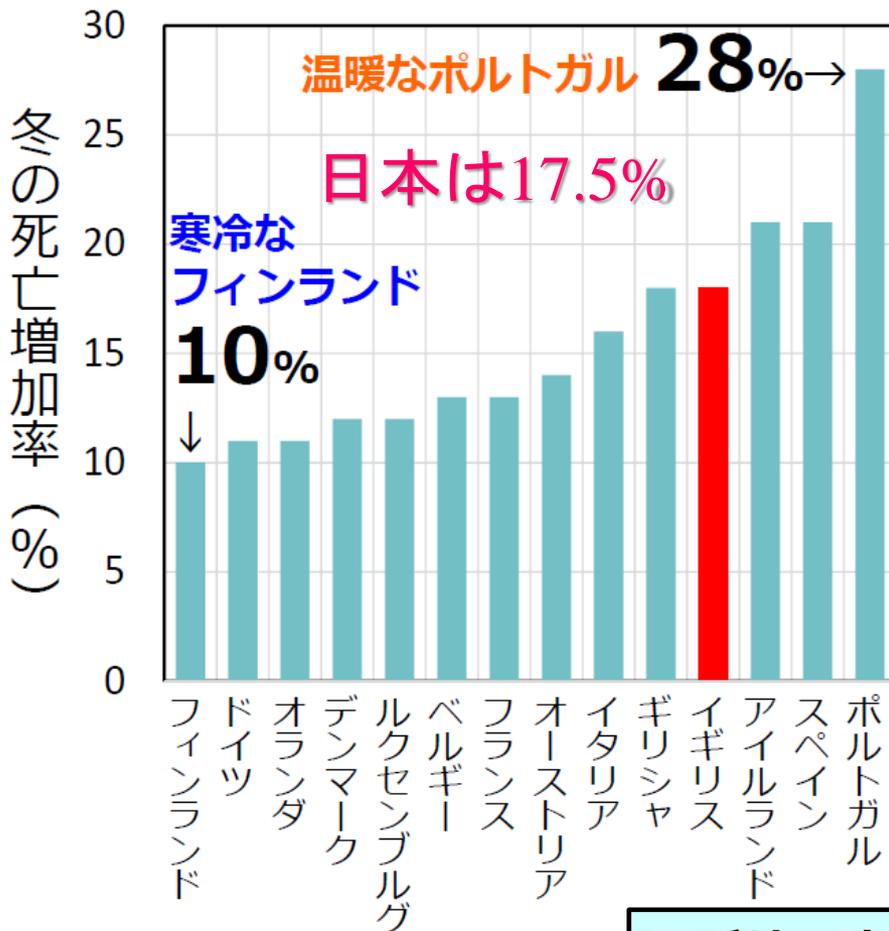
昔



今



「暖かな室温が健康に好影響」は世界の常識



世界保健機関 (WHO) も健康を守る室温として18℃を推奨した。

Topic	Recommendation	 World Health Organization
 Crowding	Strategies should be developed and implemented to prevent and reduce household crowding.	
 Indoor cold and insulation	Indoor housing temperatures should be high enough to protect residents from the harmful health effects of cold. For countries with temperate or colder climates, <u>18 °C has been proposed</u> as a safe and well-balanced indoor temperature to protect the health of general populations during cold seasons.	
	In climate zones with a cold season, efficient and safe thermal insulation should be installed in new housing and retrofitted in existing housing.	

温暖地の建物は断熱性が低いため冬の室温が低いが、欧州では国民の健康を守るため、それを改善しようという動きが現れはじめた。

英国保健省年次報告書 (2010.3)



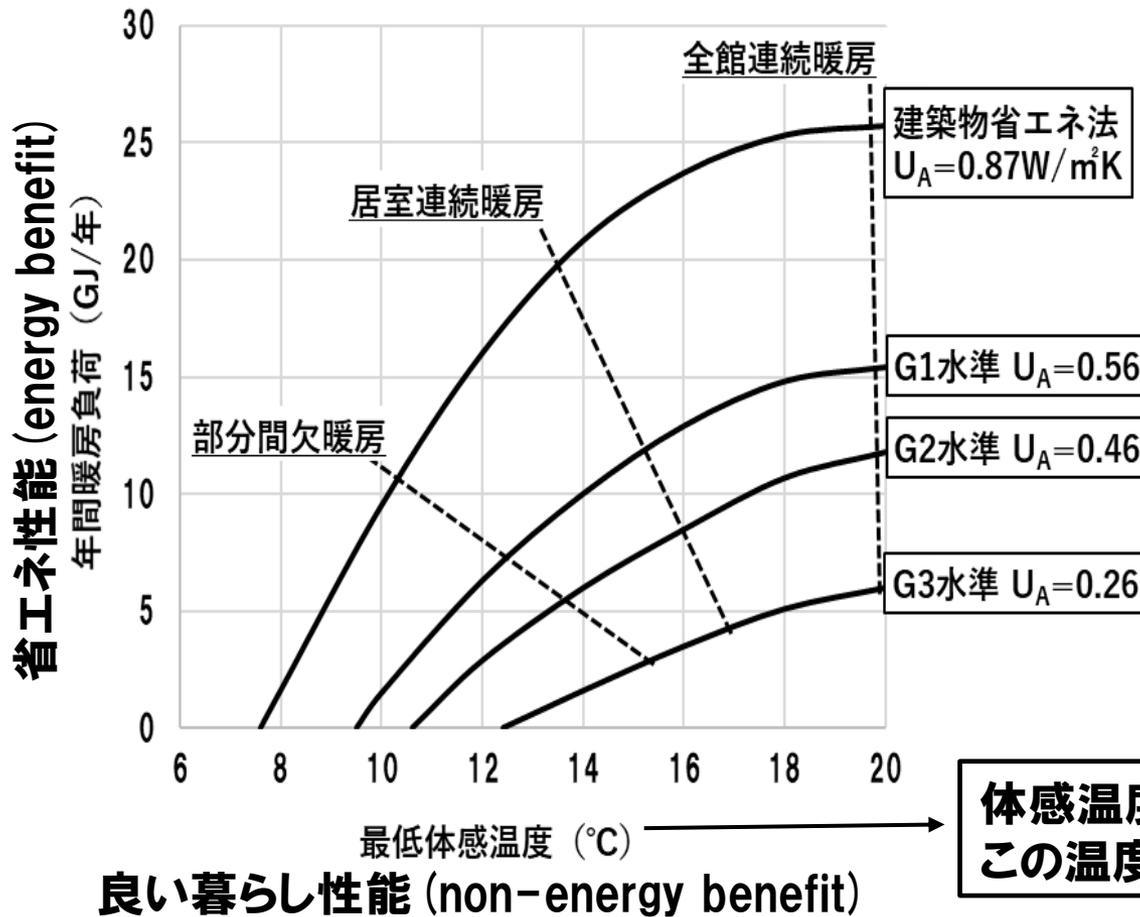
Ikaga Lab., Keio University (Yukie HAYASHI)

省エネ性能と「良い暮らし」を示す「ボンボリの図」

～HEAT20※が提案する外皮断熱の水準～

「ボンボリの図」の例(戸建住宅、東京)

- ① U_A の等値線は扇型の曲線で示される。
- ② 暖房方式は傾きが異なる直線で示される。



※ 20年先を見据えた高断熱住宅研究会

HEAT 20

HEAT20の断熱水準	性能表示の断熱等級
G1	≒等級5
G2	≒等級6
G3	≒等級7

体感温度(作用温度)とはおおむねこの温度を下回らないという意味。

換気の重要性(法律で定められた室内環境基準)

建築物衛生法や建築基準法では、居住者の健康維持と衛生上の目的から室内環境の基準値(空調・換気的目標値)を定めている。

- ①室内の温度: 17~28℃
 - ②室内の湿度: 40~70%
 - ③室内の気流: 0.5m/s以下
 - ④室内の空気清浄性(換気のための)
- 空調の目標

CO₂濃度(換気指標) ≤ 1000ppm
ホルムアルデヒド濃度 ≤ 0.1mg/m³
浮遊粉塵量 ≤ 0.15mg/m³
CO濃度 ≤ 10ppm

- コロナウィルスの許容濃度は策定できないが、コロナウィルス濃度は低いほど感染リスクは低下する。
- 感染には曝露時間(汚染質にさらされる時間)も影響するが、詳細は未解明。

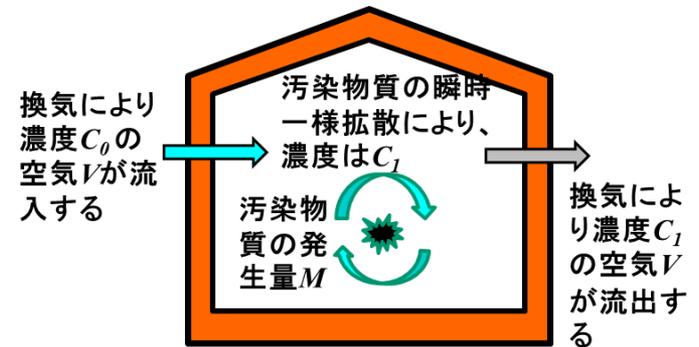
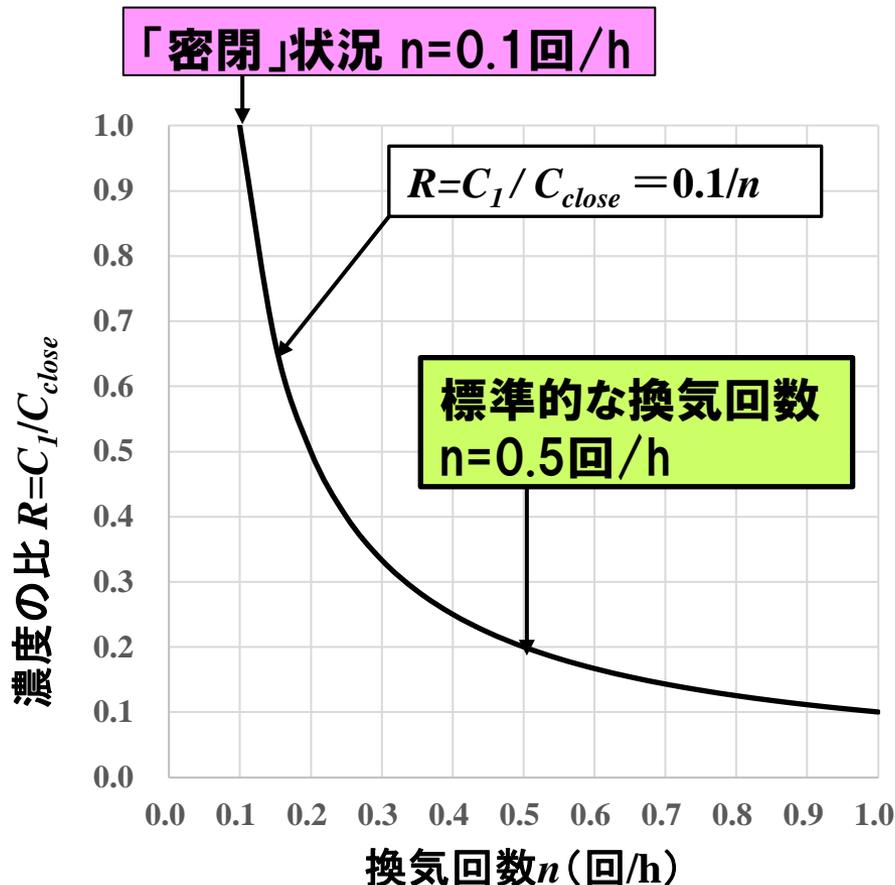
換気的作用



人間の呼気(CO₂)
建材・家具からの化学物質
粉塵、燃焼ガス
コロナウィルスも含まれる

室内における汚染物質濃度と換気量の関係

室内で発生する汚染物質(ウィルスなど)は、換気量の増大によって濃度が急激に低下する。濃度低下=感染リスクの低下



瞬時一様拡散モデルによる濃度式

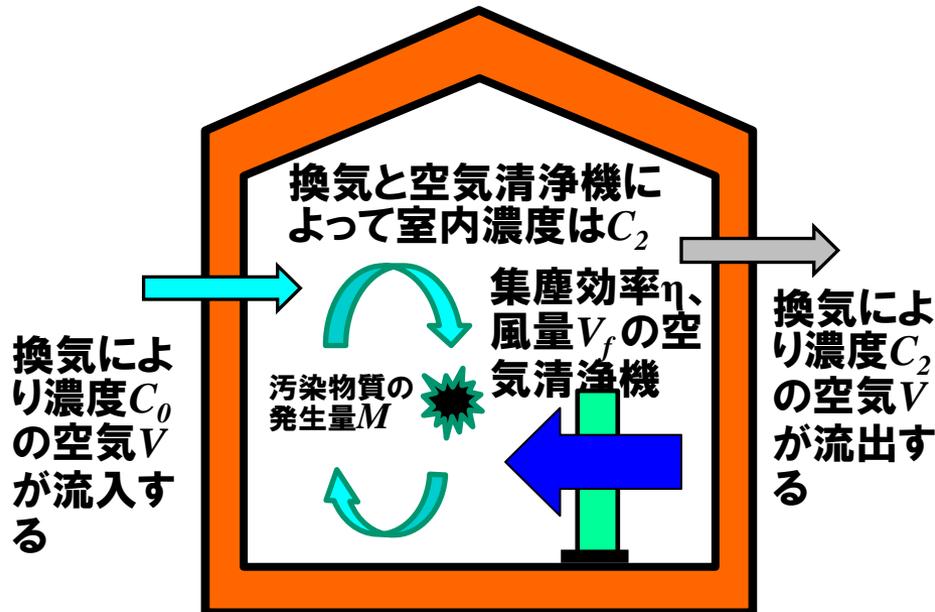
$$C_1 = C_0 + M/V$$

$C_0 \sim 0$ 、及び、 $V = nB$ を仮定すると、
 $C_{close} = M / (0.1B)$ 及び $C_1 = M / (nB)$ より、
 $R = C_1 / C_{close} = 0.1/n$ ・ ・ 左のグラフ。

ここで、
 n = 換気回数(部屋の空気が1時間あたり入れ替わる(換気される)回数) [回/h]。
 B = 室の体積 [m^3]。

空気清浄機の効果も換気量の増加で評価

瞬時一様拡散の仮定



室内での汚染物質の増加量を δ_1 とすると、

$$\delta_1 = M + C_0 V + (1 - \eta) C_2 V_f$$

室内での汚染物質の減少量を δ_2 とすると、

$$\delta_2 = C_2 V + C_2 V_f$$

ここで、 M = 汚染物質の発生量 [mg/h]

C_0 = 外気の汚染物質濃度 [mg/m³]

C_2 = 室内の汚染物質濃度 [mg/m³]

V = 換気量 [m³/h]

V_f = 空気清浄機の風量 [m³/h]

η = 空気清浄機の集塵効率 [比率]

定常状態を仮定すると、 $\delta_1 = \delta_2$ なので、

$$C_2 = (M + C_0 V) / (V + \eta V_f) \text{ を得る。}$$

ηV_f = **空気清浄機などの相当換気量**
 空気清浄機などは、あたかも換気量が増大したように作用し、濃度を希釈する。

住宅の品質(性能)を向上させるための行政

●建築基準法(最低基準⇒遵守義務)

- ・建築物の敷地、**構造**、**設備**及び用途を規定する。
- ・耐震性能、防火対策、衛生対策等を示す。
- ・建築基準関連規定(遵守義務である他の法令)を示す。
〈例:消防法、ハートビル法、浄化槽法、**建築物省エネ法**〉

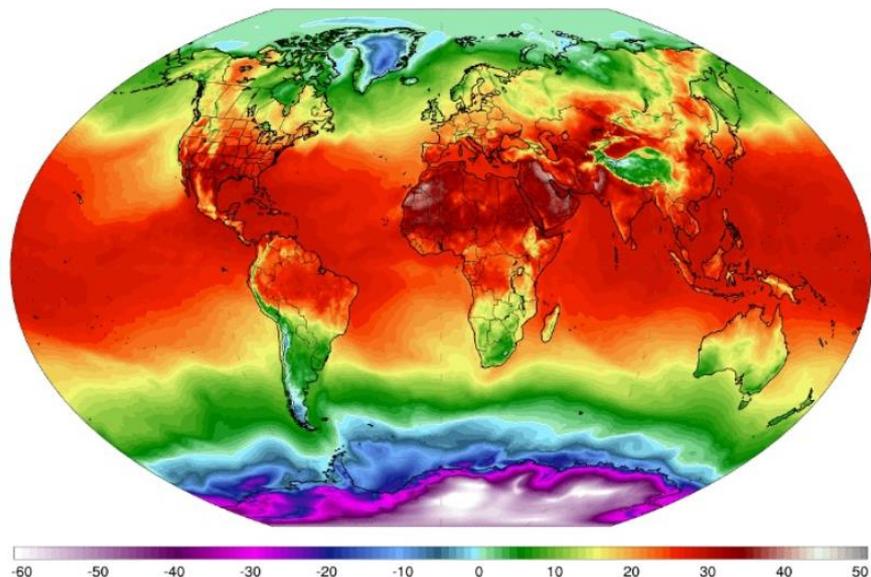
●住宅品確法

- ・政府による**日本住宅性能表示基準**の制定。(任意基準)
- ・住宅供給側の瑕疵担保責任の明示。(遵守義務)

●補助金・融資・減税(任意)

- ・長期優良住宅制度の制定・運用。
- ・住宅金融支援機構の融資・技術基準の制定。

2. カーボンニュートラルの行方は？



温室効果ガスによる大きな温暖化は本当か？⇒多少の温暖化は現にあるが（世界平均で0.54℃）、今後のことは、誰も分からない。

根拠が非常に明確な脅威とは言えないが、「不安」が残る。



各国・地域の温室効果ガス削減の2030年目標

日本	46%減(30年度。13年度比)
米国	50~52%減(05年比)
欧州連合(EU)	55%減(1990年比)
英国	78%減(35年目標。90年比)
中国	30年までにCO ₂ 排出量を減少に転じさせ、60年までに実質ゼロに

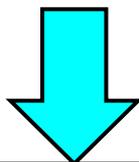
日本はまずパリ協定の目標を達成しよう

【パリ協定】2015年12月締約

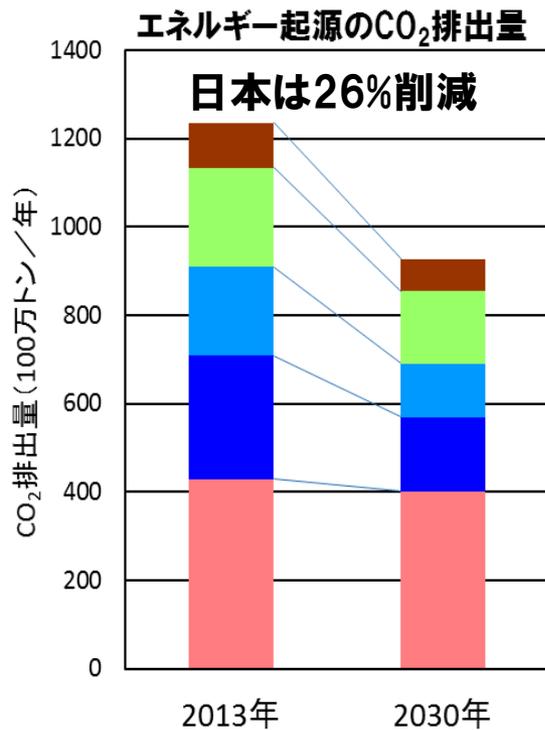


日本の温室効果ガス削減の目標値は26%(2013年度比)。民生部門(住宅・建築)では、40%の削減率。

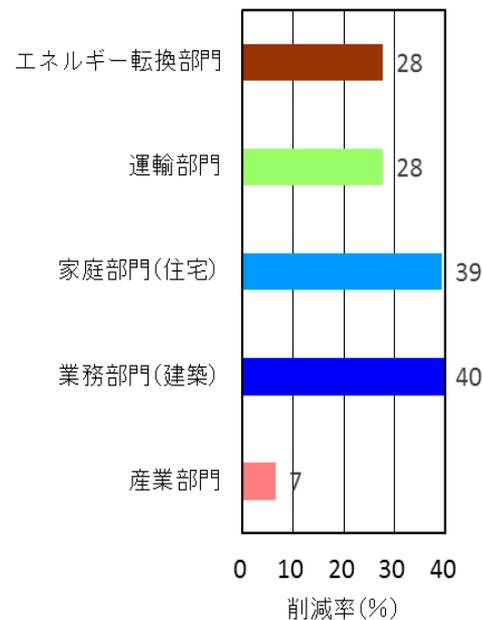
パリ協定の内容を達成すべく、日本の脱炭素政策は進められてきた。



今後は首相宣言(46%削減)に整合するように、政策が改められる。



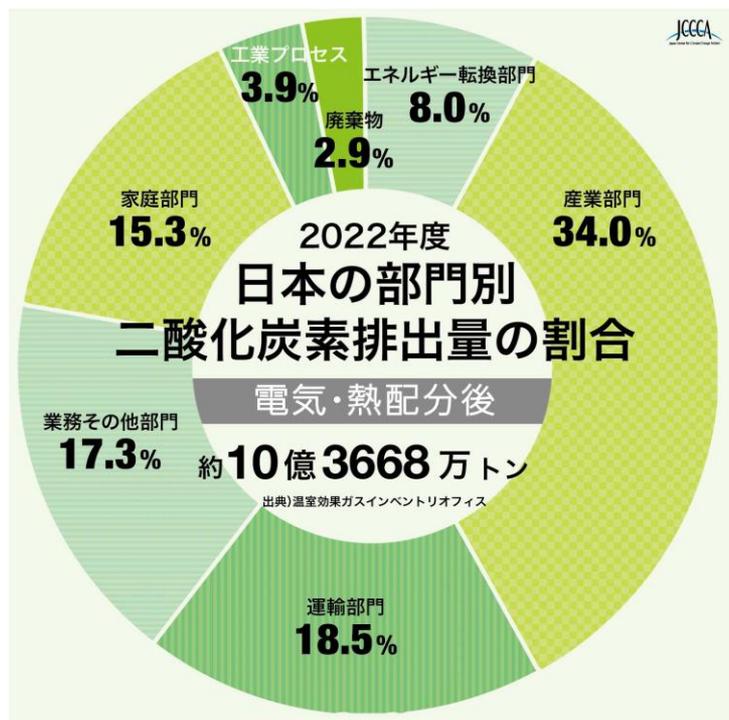
部門別削減率の比較



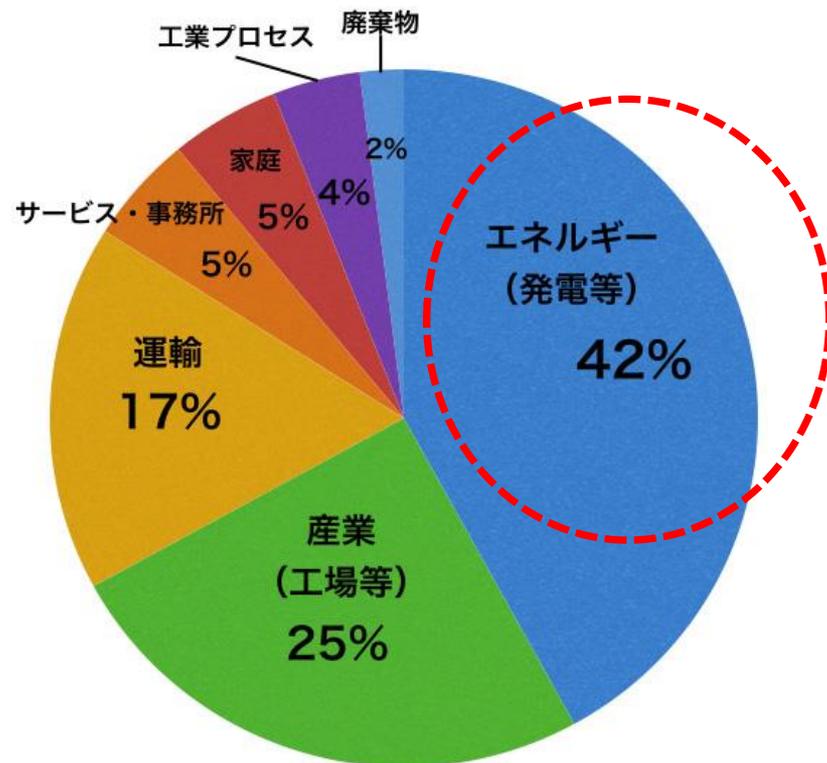
■ 産業部門 ■ 業務部門(建築) ■ 家庭部門(住宅) ■ 運輸部門 ■ エネルギー転換部門

そもそもCO₂はどこから排出されるか？

日本のCO₂排出量の部門別比率
(2022年度、出典:JCCCA)



同排出量に関する電力起源とその
他燃料起源の比率(2016年データ)

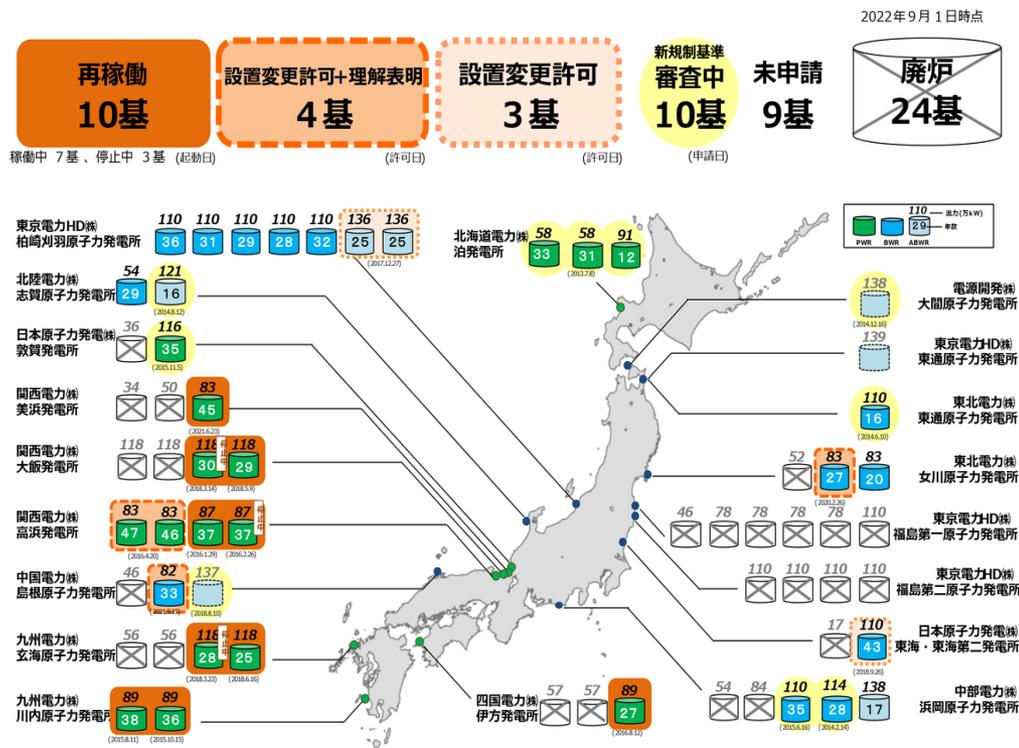


<https://denki.k-server.info/about/>

日本では、CO₂の半分近くは発電によって排出される
⇒発電時のCO₂排出を減じることが効果的⇒原発の再稼働か

原発はCO₂をほぼ発生させないが、国民の理解は？

■ 原発の再稼働に梃をきる。⇒エネルギー・CO₂対策に有効



出典: エネ庁HP

- 原発の技術革新(革新的軽水炉、高温ガス炉、SMR)への期待
- 核廃棄物の最終処理場は合意が得られるか？

住宅・建築における脱炭素戦略(4つの方策)

①省エネルギー

高性能外皮
高効率設備

②創エネルギー

太陽光発電など

省エネが第一歩
であり、基本

脱炭素社会
の住宅・建築
(省エネより大きな概念)

建築独自の脱炭素手法

④長寿命住宅・建築

リフォーム・メンテ・
継承

③材料・工法の省CO2

木造化(植林による
大気中炭素の吸
収・固定化)



21世紀の世界的な木造建築ブーム(?)

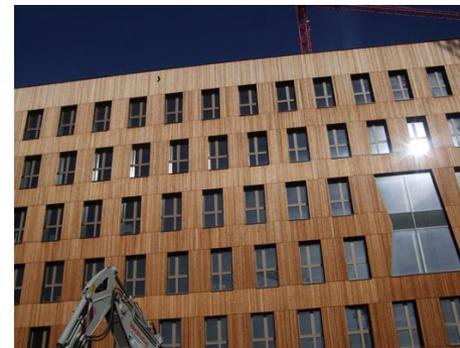
(中高層木造建築技術の発展と実践)



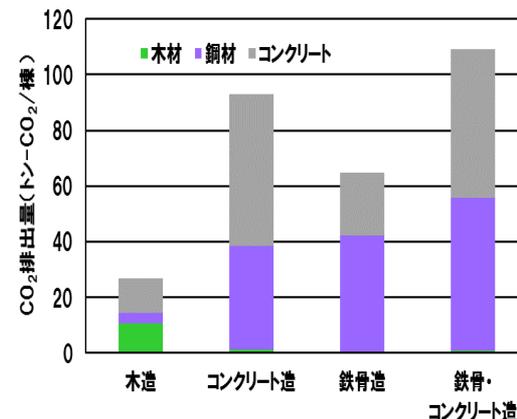
BC大学の18階建学生寮
(カナダ・バンクーバー)



仙台の10階建の共同住宅
(鉄骨+CLT+燃エンウッド)



ウィーンのHohoプロジェクト



建設に関わるCO₂排出量の比較(確かに木造は少ない)

木造建築に関心が集まる理由何か？ 複合的な理由がある。

- ①脱炭素(サステナブル)、②意匠(コンクリートや鉄に飽きてきた)、
- ③自然へ回帰、④新たな技術へのチャレンジ

カーボンニュートラル政策への懸念 (再エネ発電所には問題がある)

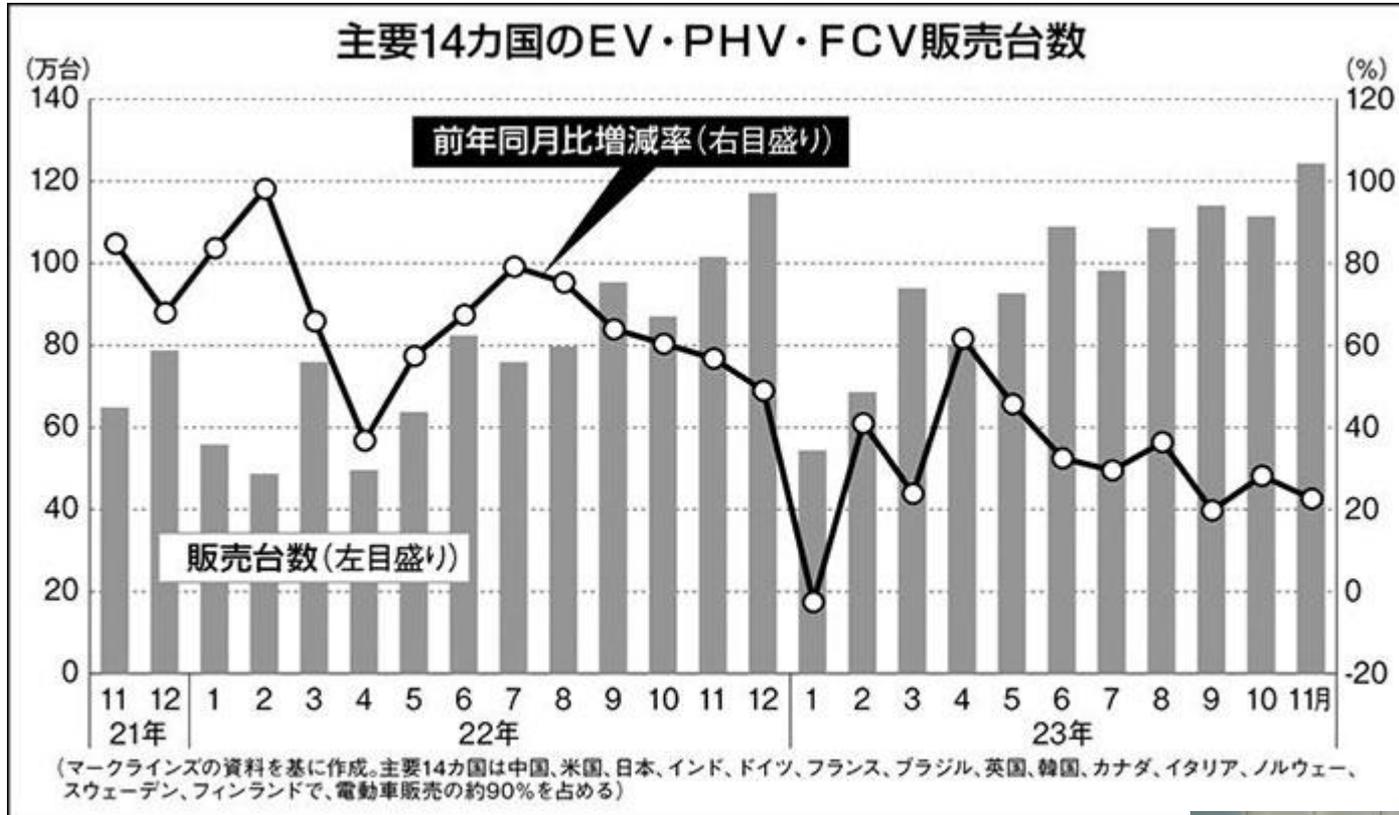
- 再生可能エネ発電所(メガソーラー、風力発電)の課題
 - ①そもそも自然破壊・環境破壊にならないか？
 - ②自然災害対策が不十分
 - ③行政上の規制が不十分(地方へのブロン投げ:許認可、住民同意など)⇒原発と比べ規制が緩すぎる。



- ZEH・ZEBに問題はないか？
東京都のZEH義務化(?)
⇒大手へノルマを課す
- PVパネルの廃棄処理は
⇒今後しっかり取り組む？
- 開発や事業化にはSDGsを
活用すべき
「10.人や国の不平等の是正」
「12.つくる責任・つかう責任」



EV車は、ホントは売れてるの？ 売れてないの？



EV車の課題

- ／価格が高い／低い外気温に弱い
- ／充電時間が長い／...



ZEHにおける課題も解決しよう

①太陽光パネルに共通する課題

- 火災時の放水による感電
- パネル廃棄時の毒物処理対策(鉛、カドミウム、セレン)⇒対策を義務化
- パネル生産時の強制労働やCO₂排出量評価⇒SDGsの10と12で対応、国産化にシフト



出典:住まいのウチイケ

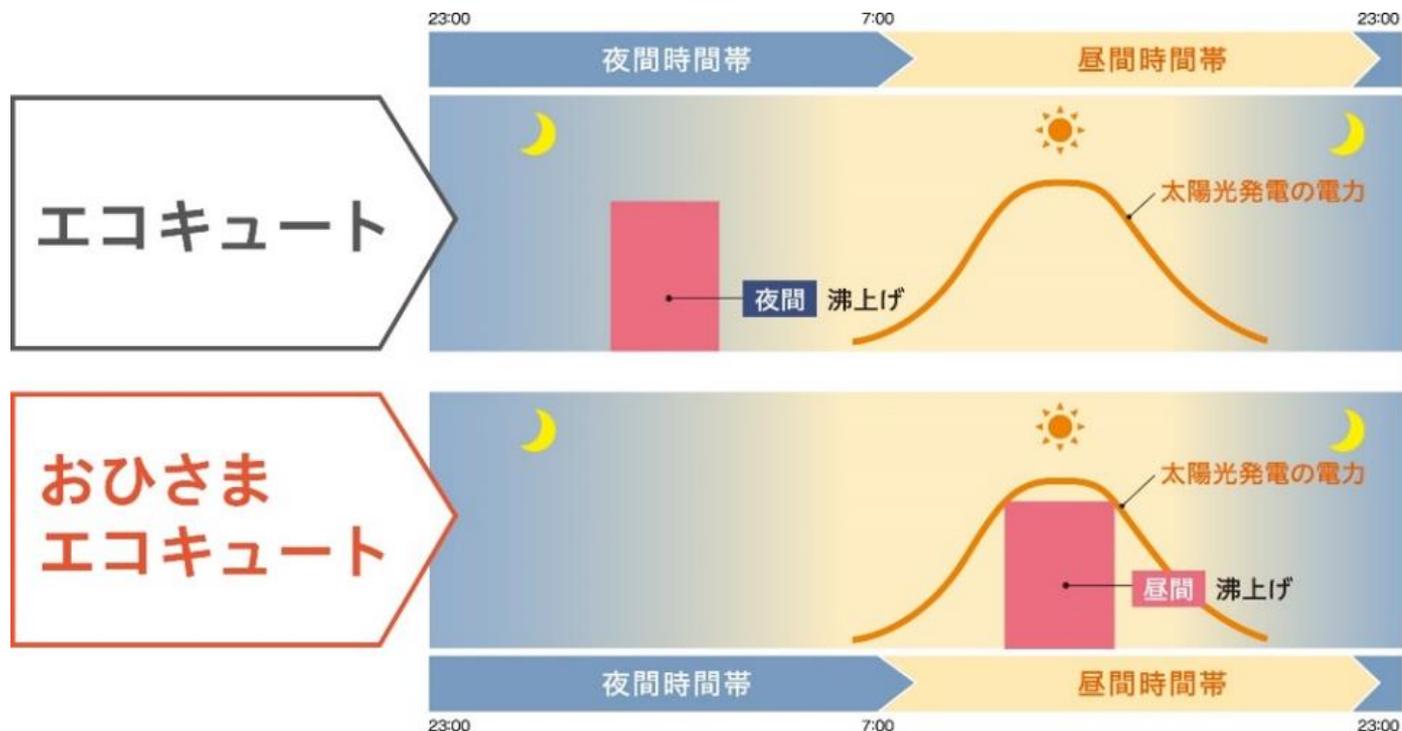
②屋根の重量増大⇒建築基準法で対応(構造計算の拡大)

③発電の自家消費率が低いため、電力ネットワークに負担を強いる⇒蓄電池や「**おひさまエコキュート**」で対応



出典:積水ハウス

おひさまエコキュートの効果

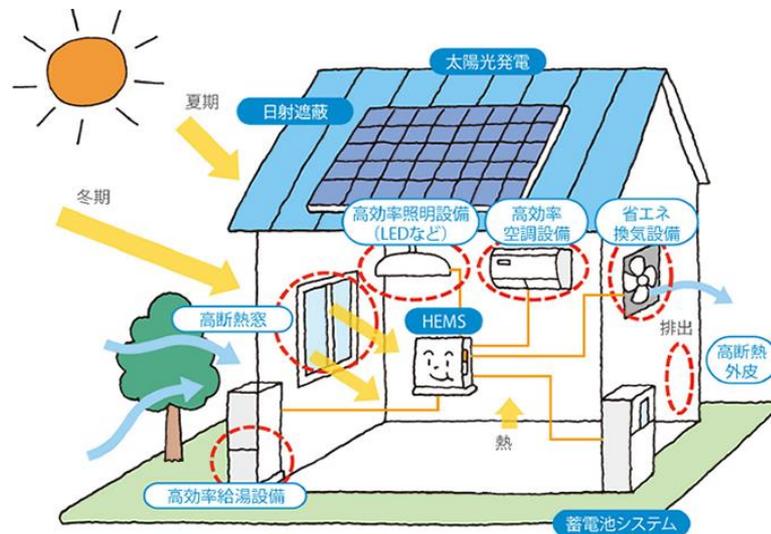
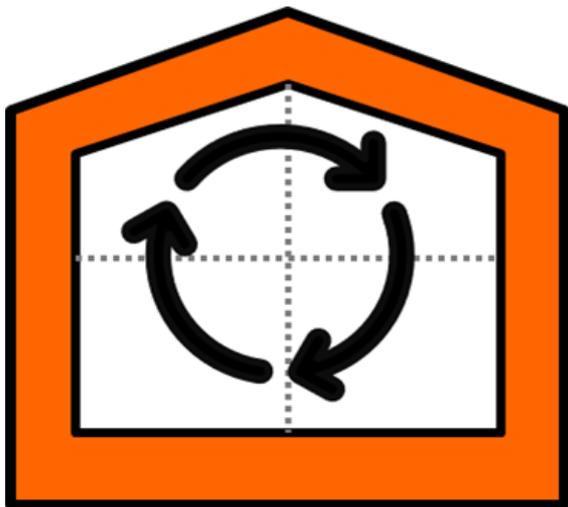


◎太陽光を行わない日(天候の悪い日など)も昼間の沸上げ時間帯に沸上げます。

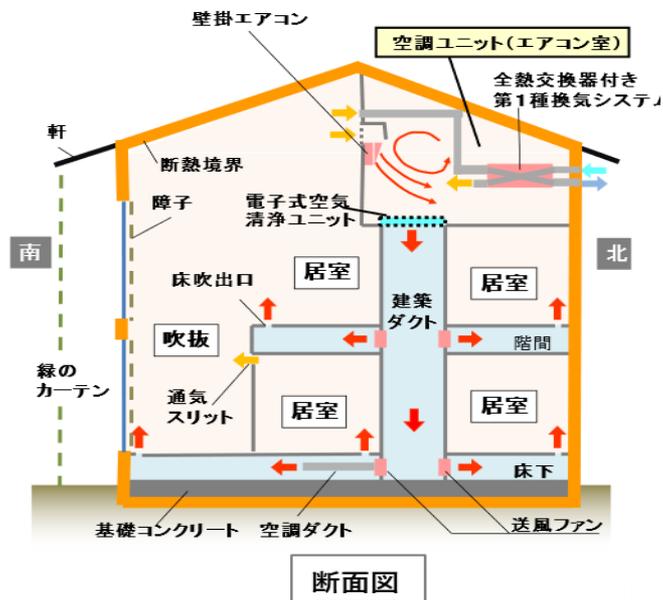
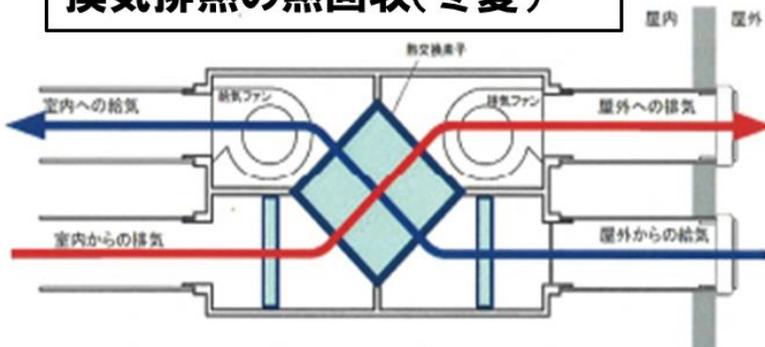
出典: CORONA

給湯の年間消費電力(1,550kWh)のうち831kWhを太陽光による自家消費電力で賄っており、給湯機単体の太陽光発電の自家消費率は54%に達します。

3. 省エネは良い暮らしとカーボンニュートラルを実現する (高断熱化、全熱交換換気、全館空調)



換気排熱の熱回収(冬夏)



断面図

2025年の建築関連法令の改正 (省エネ基準は適合義務化へ)

建物の規模	建築(非住宅)	住宅
大規模 (2000㎡以上)	2017年度から 施行済み	「届出」の義務 ⇒適合義務へ (2025年)
中規模 (300~2000㎡)	2021年度から 施行済み	
小規模 (300㎡未満)	説明義務⇒適合義務へ(2025年)	

2025年以降、全建築物に対して「適合義務」が課せられることに建築物省エネ法は改正された。つまり「黄色の部分」はなくなる。

●木造戸建住宅の建築確認手続きの改正



●今後、建築基準法施行規則において、申請に必要な図書の種類と明示すべき事項を規定する予定(2023(令和5)年秋頃)です。

住宅性能表示での断熱性能上位等級の告示 (断熱等性能等級と1次エネルギー消費量等級)

断熱等性能等級(等級6・7は2022年10月1日施行)

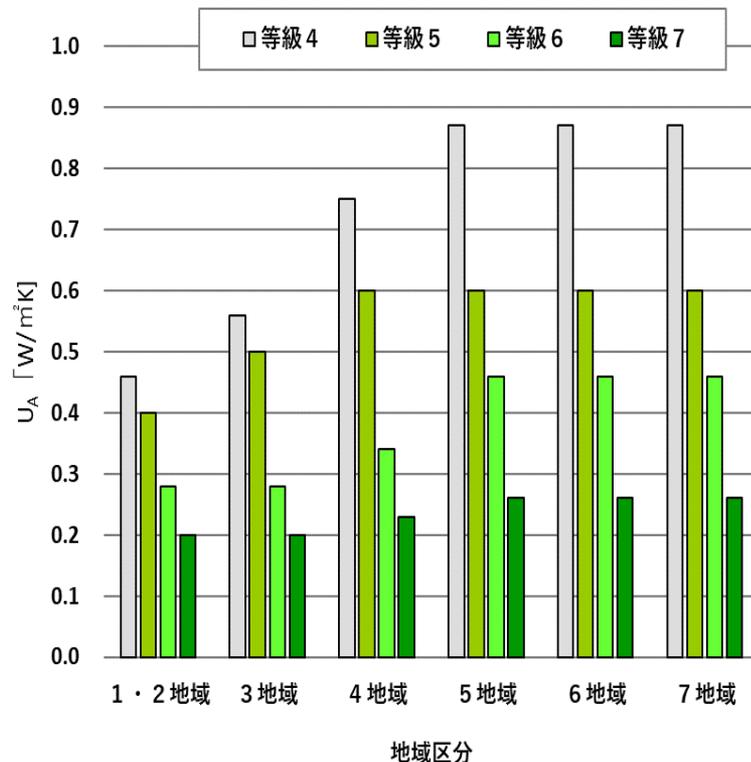
U _A [W/(m ² ・K)] の基準値(基準値以下が基準適合)							
等級の区分	等級2	等級3	等級4	等級5	等級6	等級7	
基準値のリファレンス	1980年基準	1992年基準	建築物省エネ法	ZEH要件(外皮強化)	HEAT20 G2水準	HEAT20 G3水準	
地域区分	1・2地域	0.72	0.54	0.46	0.40	0.28	0.20
	3地域	1.21	1.04	0.56	0.50	0.28	0.20
	4地域	1.47	1.25	0.75	0.60	0.34	0.23
	5地域	1.67	1.54	0.87	0.60	0.46※	0.26※
	6地域	1.67	1.54	0.87	0.60	0.46	0.26
	7地域	2.35	1.81	0.87	0.60	0.46	0.26

※ 5地域の等級6・7はHEAT20よりややレベルが低い。

1次エネルギー消費量等級

BEI [比率] の基準値(基準値以下が基準適合)		
等級4	等級5	等級6
1.0	0.9	0.8

断熱等性能等級の比較グラフ



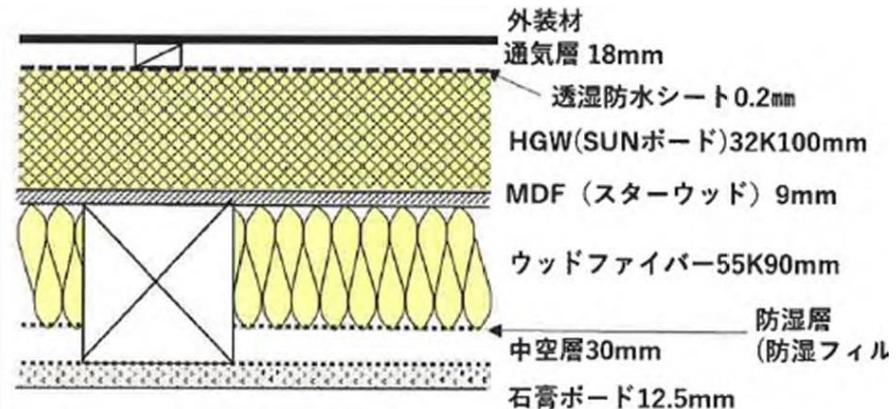
省エネ基準(等級4)の義務化も国会で決定(施行は2025年)

等級7への工務店の挑戦①



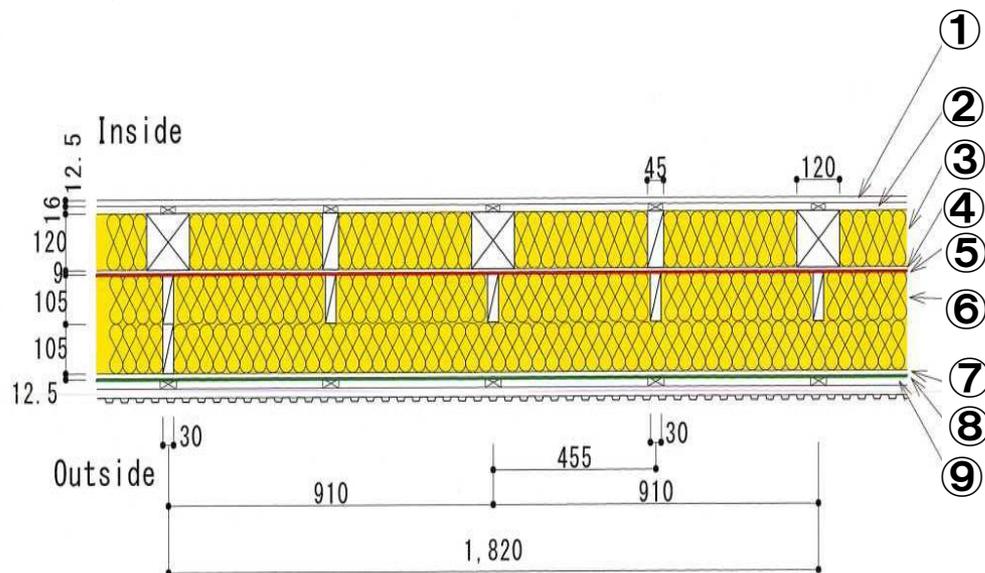
★F建設(埼玉県)
 $U_A = 0.23 \text{ W/m}^2\text{K}$
南面に窓なし

充てん木質断熱材+GW付加断熱工法
[メタルジョイント工法]



等級7への工務店の挑戦②

★R住宅(岐阜県) $U_A=0.21W/m^2K$ ドイツ・パッシブハウス認定



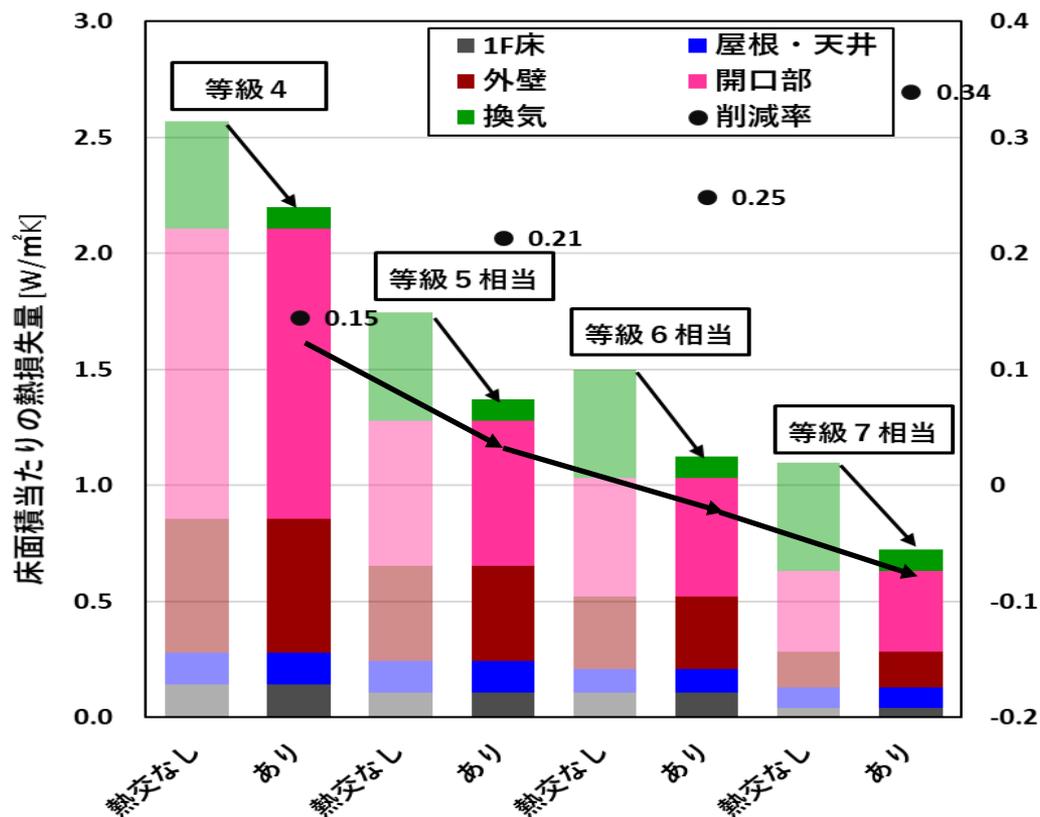
外付け
ブラインド

- ① Plasterboard $t=12.5$
- ② Dead-Air Space
- ③ Aclear Wool 24k (0.036 W/mK) $t=120$
- ④ High Best Wood (MDF) $t=9$
- ⑤ Polyethylene Sheet $t=0.2$
- ⑤ Aclear U Board Pinless Alfa
36k (0.032 W/mK) $t=105 \times 2$
- ⑥ Plasterboard $t=12.5$
- ⑦ Tyvek House Wrap $t=0.17$
- ⑧ Ventilation $t=20$
- ⑨ Sheet-metal External Wall $t=0.35$

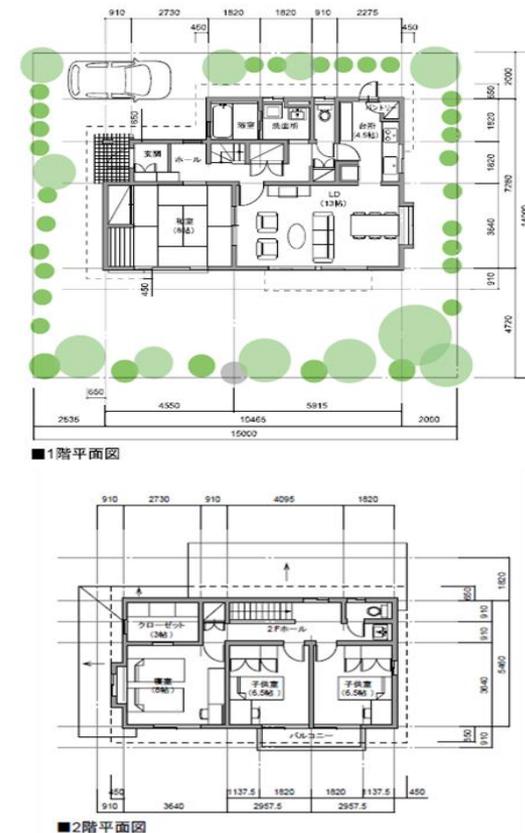
高断熱化の次は熱交換換気(健康安全と省エネの両立)

戸建住宅の暖房時の熱損失の内訳

6地域の各基準値における熱損失内訳の比較



計算に使用したモデル住宅



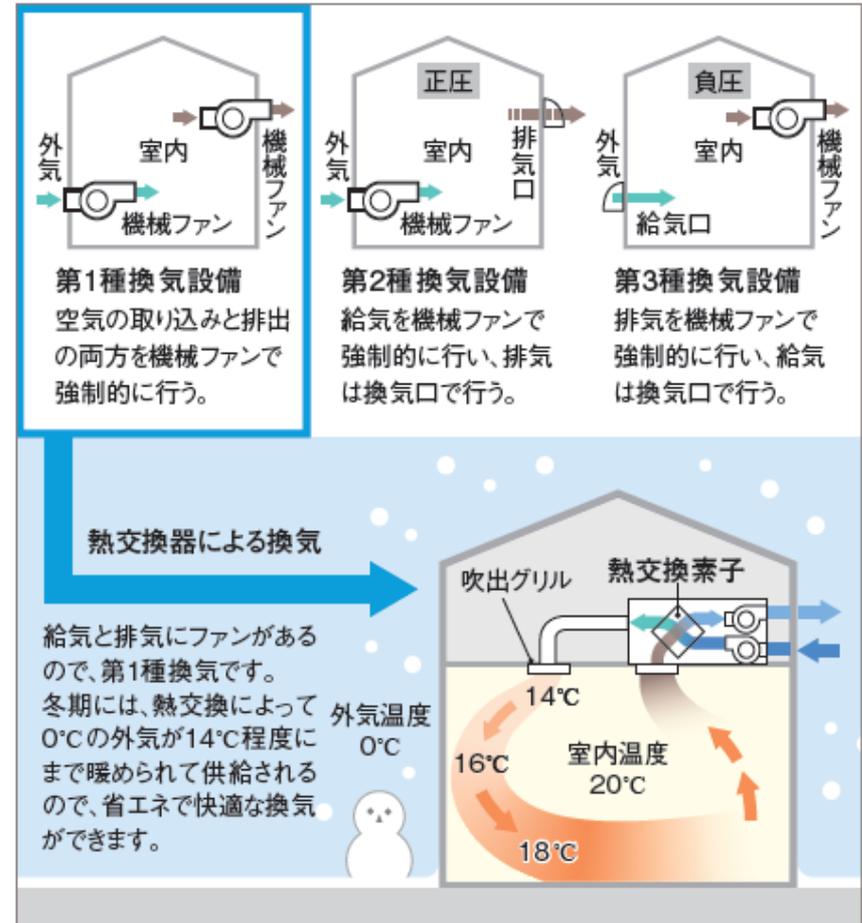
- ◆ 開口部の断熱強化による効果は大きい。
- ◆ 高断熱(上位等級)の建物ほど、熱交換換気による省エネ効果が大きくなる。

全熱交換換気の進歩

近年、全熱(顕熱+潜熱)交換換気システムは非常に進歩した。これによって、年間を通して、十分な換気の確保と省エネを両立させることが可能になった。

- **全熱交換素子の改良**(潜熱交換効率の向上と安定性)
- **熱交換素子周囲の漏気の防止**(排気の逆流防止)
- **直交流形から対向流形へ**(熱交換効率の向上)
- **中間期などにおけるバイパス制御**(省エネ)
- **DCブラシレスモーターによる省エネ**(省エネ)

熱交換換気の方法

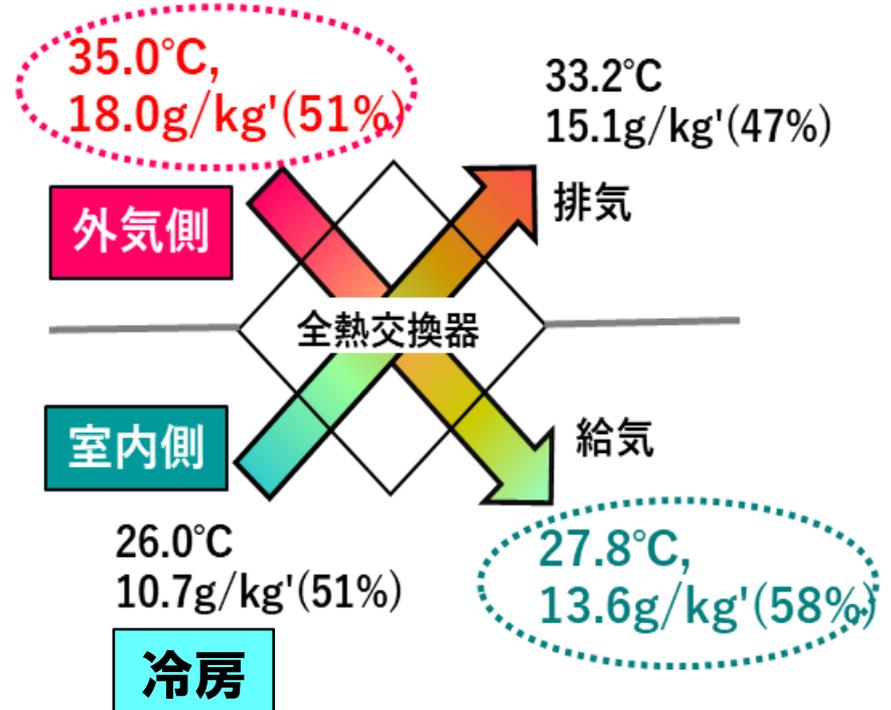
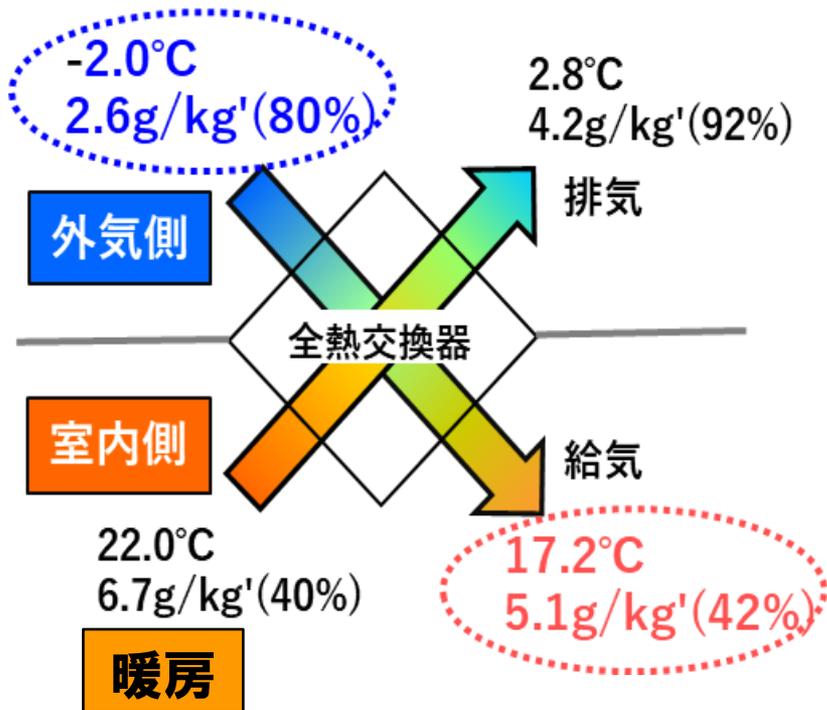


全熱交換換気の効果

冬（暖房時）

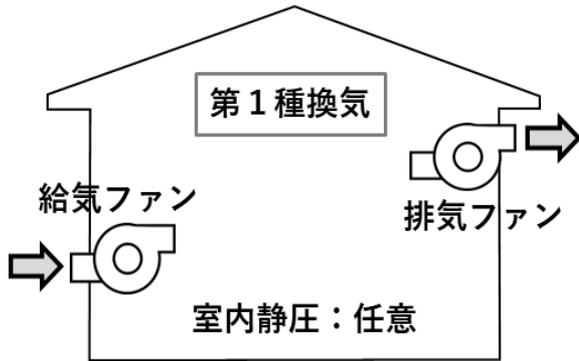
熱交換効率
 顕熱交換効率 $\eta_s=80\%$
 潜熱交換効率 $\eta_L=60\%$

夏（冷房時）

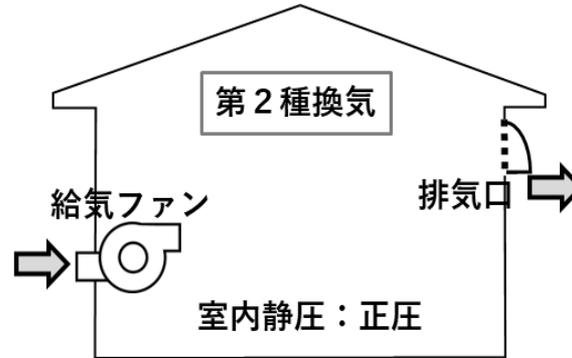


全熱交換器は換気の排熱を回収する省エネ機器

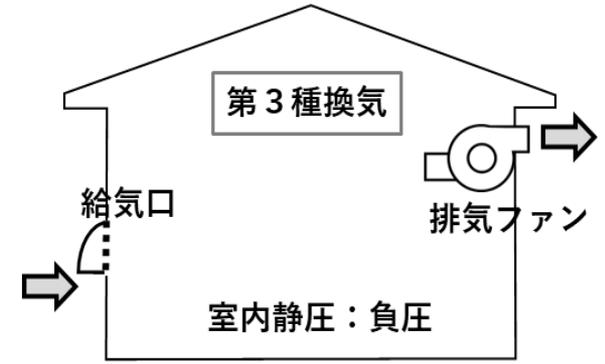
換気システムの分類と特徴



安定した換気
熱交換換気が可能



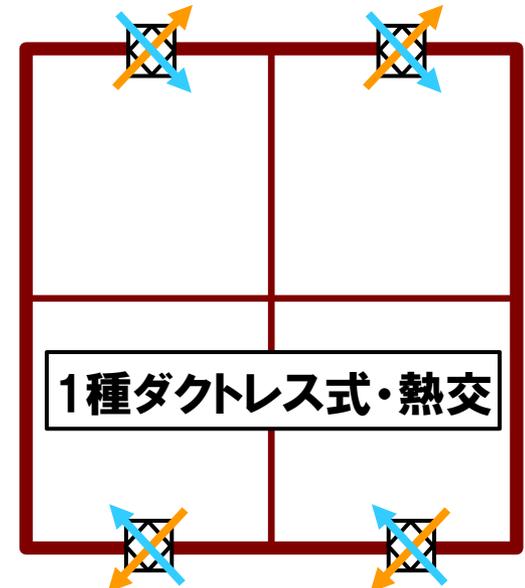
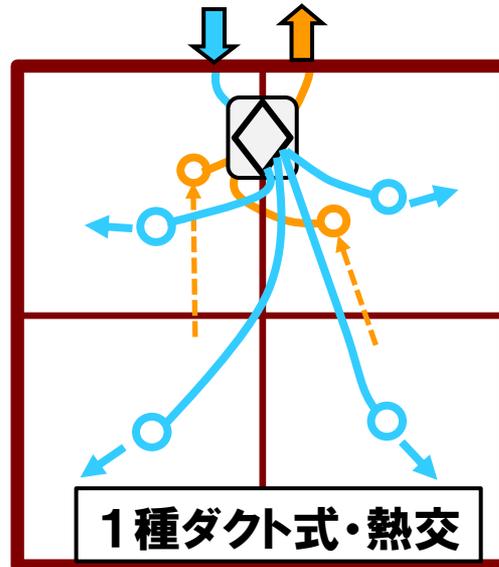
室内湿気の壁体侵入



浮力・風圧の影響を受けやすい

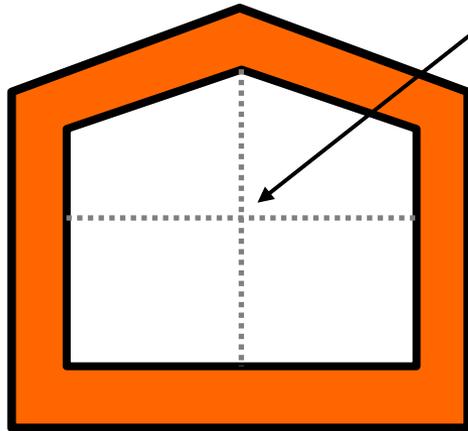
ダクト式とダクトレスの比較 (なぜダクトが使われるか?)

ダクト式	集中型 (中央式)	1台の換気装置で複数室の給気/排気を行う
ダクトレス式	分散型 (個別式)	各室で給気/排気を完結(室数の換気装置)



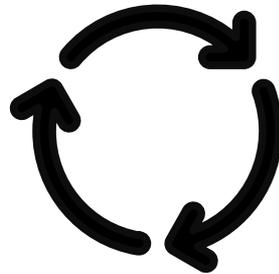
良好な温熱環境の創造 = 高断熱 + 室内空気の循環

間仕切り壁や2階の床
(空気の動きの邪魔になる)

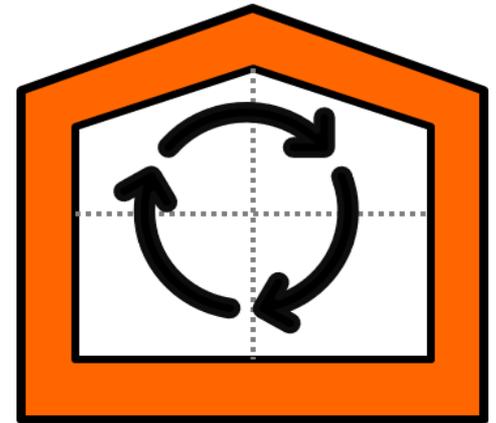


高断熱外皮

+



=



建物全体が
良好な温熱環境

「高断熱 + 全館空調システム」によって実現される

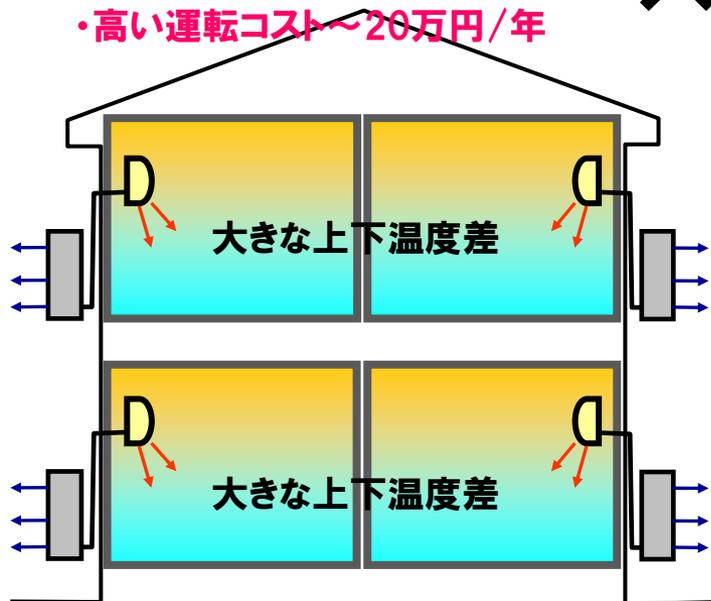
個別空調と全館連続空調の比較

均一な温度環境と妥当なコスト(初期+燃費)の両立
⇒省エネをリッチに楽しむ

①高断熱・高気密+②高効率エアコン+③高効率小型ファン

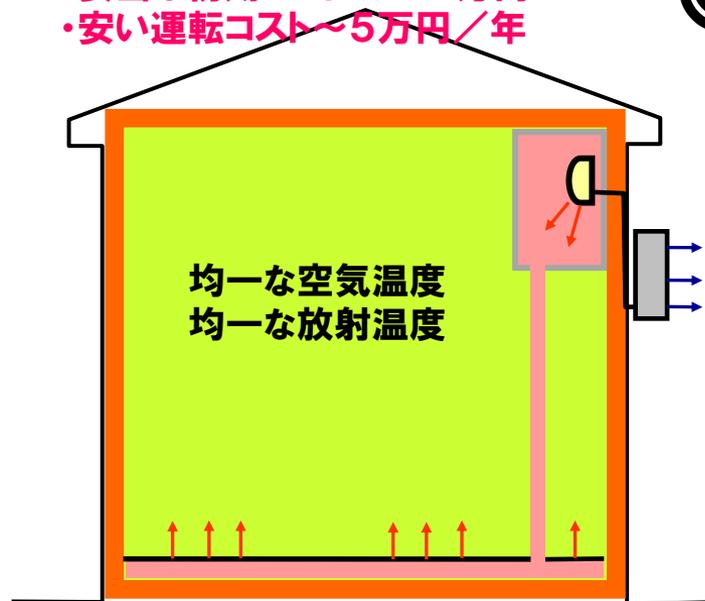
低断熱+多数の廉価なエアコン

- ・安い初期コスト~30万円
- ・高い運転コスト~20万円/年



高断熱+1台の高効率エアコン

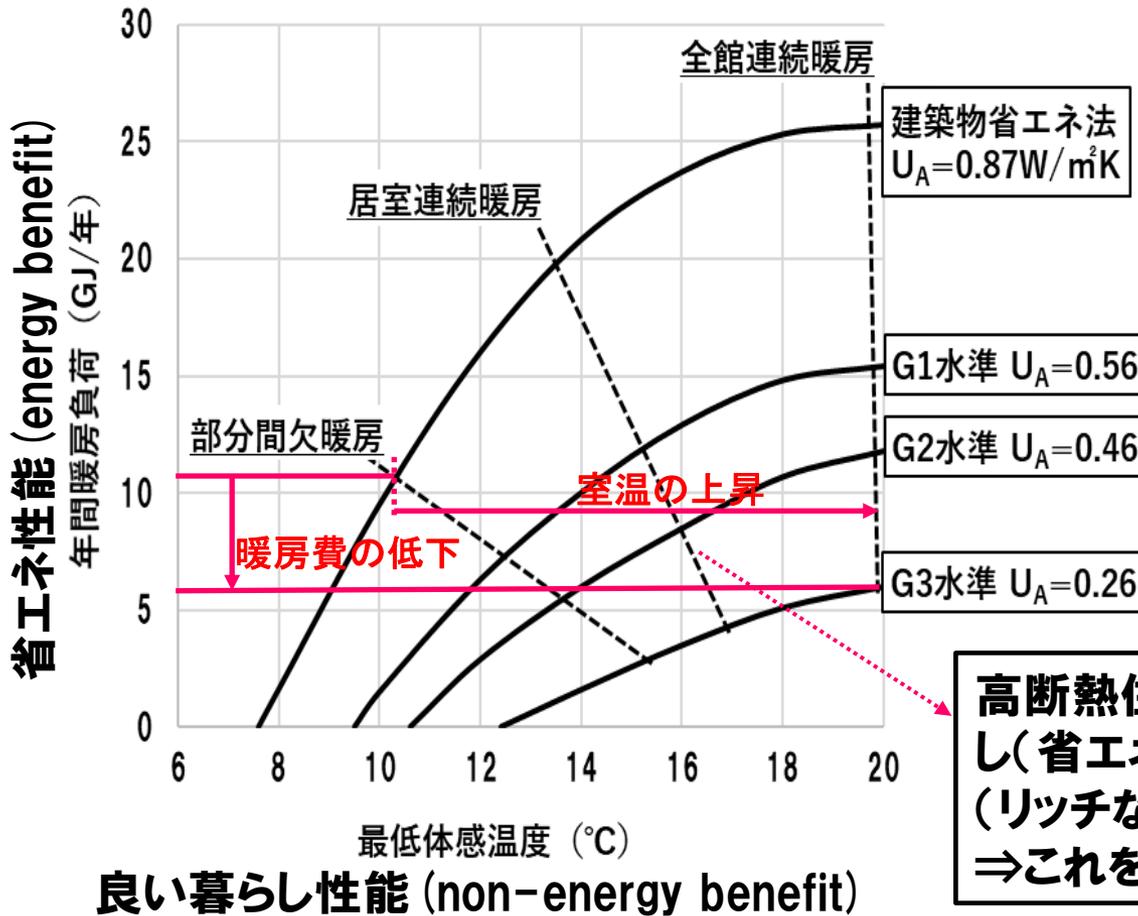
- ・妥当な初期コスト~100万円
- ・安い運転コスト~5万円/年



「ボンボリ図」で理解できる「省エネをリッチに楽しむ」

「ボンボリの図」*の例(戸建住宅、東京)

- ① U_A の等値線は扇型の曲線で示される。
- ② 暖房方式は傾きが異なる直線で示される。



※ 20年先を見据えた高断熱住宅研究会

HEAT 20

HEAT20の断熱水準	性能表示の断熱等級
G1	≒等級5
G2	≒等級6
G3	≒等級7

高断熱住宅(G3)では「暖房費が低下し(省エネ)」、かつ、「室温が上昇する(リッチな暮らし)」。
⇒これを実現する空調方式が全館空調

空調風量による住宅全館空調の分類

(床面積が120㎡程度の戸建住宅を想定)

$$\text{空調熱量 [W]} = 0.35 \times \text{風量 (V)} \times \text{温度差 (\Delta T)}$$

Vと ΔT (=室温-吹出温度)の組合せによってシステムを分類できる。

空調風量と温度差による分類	最大全館風量(V)の目安	温度差 ΔT の目安	代表的な事例	室温制御の考え方	室温のバラツキ(目安)
大 風量・小温度差	1800 ^m ³/h以上	3~5K	YUCACO マツハ	風量が大きいため全館が均一温度に近くなる。 室温制御はエアコンの設定温度で行う。	小 1~2K
中 風量・中温度差	800~1800 ^m ³/h	6~8K	With air* エアロテック* スマートブリーズ Z空調	*のシステムにはVAVが取り付けられていて、室別に温度設定を行える。	中 2~4K VAVであれば1K
小 風量・大温度差	800 ^m ³/h以下 エアコンに付いているファンは、最大で600 ^m ³/h	10K以上	エアコンを床下空間に設置	成り行き (条件によっては室と室の温度差が大きくなる)	大 4K以上

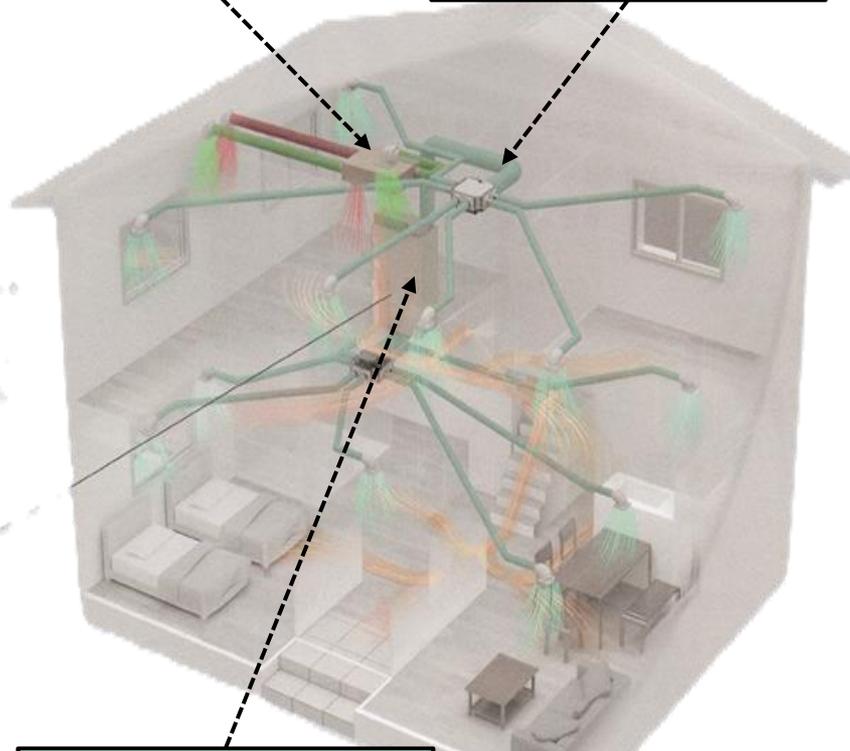
大手メーカーも全館空調システムの新規開発 (市場が拡大すると予想)

①with air (パナソニック)

②エコエアFine(LIXIL)

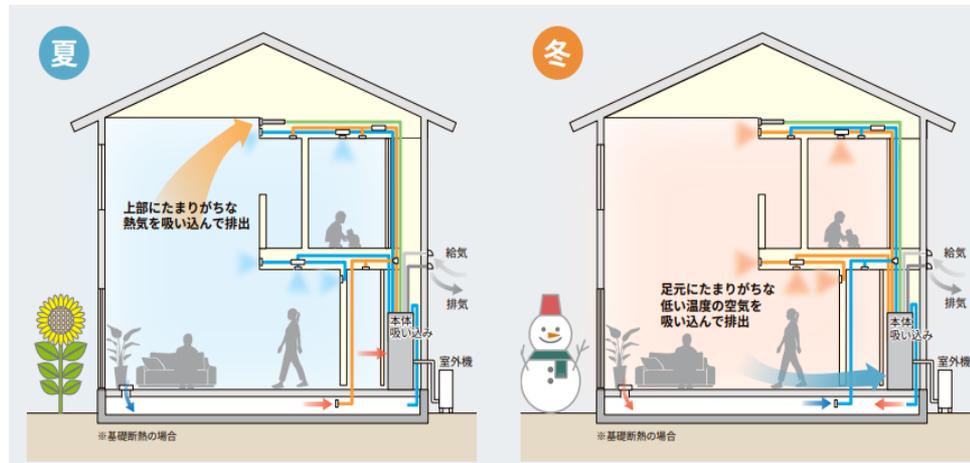
熱交換気ユニット

分岐チャンバー
(VAV)



空調ユニット

制御方式の更新で旧制御
比約20%※の省エネ改善



- ①小风量システム：気流感を抑えた空調 & ダクトの小径化
- ②全棟空調負荷診断：ゾーン別 & 日射の影響も考慮した冷房負荷
- ③循環経路自動切替：冷房時暖房時に最適な空気循環

まとめ

1. **良い暮らしはを良い住まいによって実現される
良好な温熱・空気環境、優れた建材・住宅設備、
その他……**
2. **カーボンニュートラルには懸念もある
無理で非合理的なカーボンニュートラルは止めるべきだ**
3. **住宅・建築の省エネと木質化は良い暮らしと「無
理のないカーボンニュートラル」をもたらす
(高断熱化、全熱交換換気、全館空調、木質化)**
4. **断熱リフォームも推進しよう**