

# （画期的な工業用塗装と環境対策）

## 乾燥炉の改善改良によるCO2削減

岡山市アークホテル

平成25年3月12日

平野克己

（日本塗装機械工業会）

（環境技術分科会）

# 講演要旨

- 1. 塗装の公害と環境問題
  - 歴史
  - 地球温暖化・CO<sub>2</sub>削減
- 2. 塗装工程の環境負荷
  - 負荷の種類と割合
  - LCAでの評価
- 3. 乾燥炉改善・改良によるCO<sub>2</sub>削減
  - システムでの対応
  - CO<sub>2</sub>削減の例

# 1.1 日本の塗装環境の 主要エポック(歴史)

1949

工場公害防止条例

(1966)

(ルール66)

1970

水質汚濁防止法  
大気汚染防止法

1971

悪臭防止法

環境庁

1972

有機則改正

1974

第一次  
オイルショック

1987

モントリオール議定書

1993

環境基本法

1997

京都議定書

2001

窒素・リン規制

環境省

2006

VOC削減

2011

節電・CO2削減

# 1. 2 環境に関する法の論拠

- **健康保全**

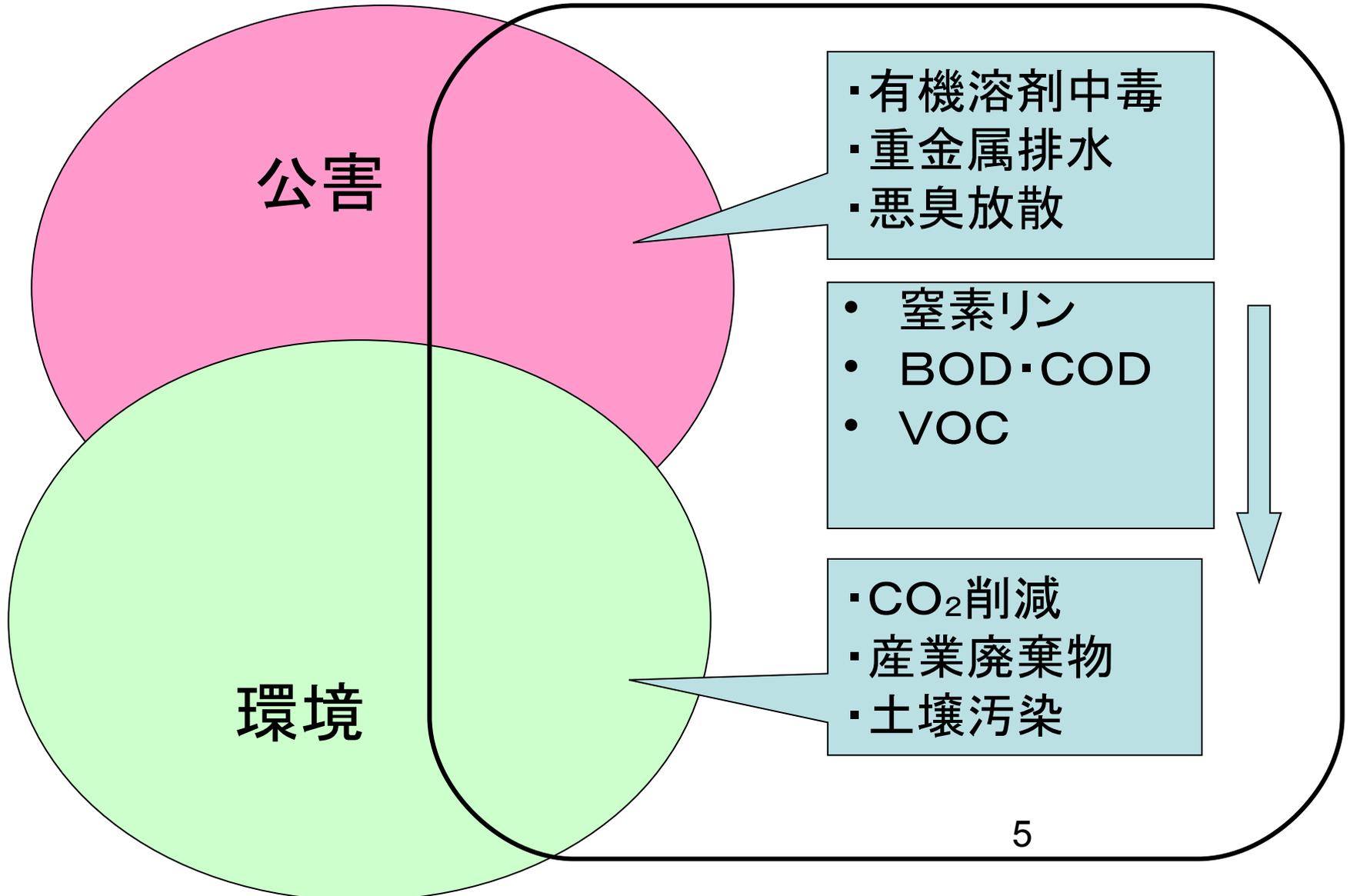
- 人体： 重金属、有機溶剤中毒、臭気、騒音、シックハウス症候群、VOC等。  
(人体の健康に係る項目は法制化されているが、低濃度での長時間被曝など未確認事項も多く、今後も有害性の確認を継続する必要がある)

- **環境保全**

- 生態系：水質汚濁、大気汚染、土壌汚染、産業廃棄物。  
(有害性が明確でない場合は、法規制し難い)
- **地球環境**：省エネ、CO<sub>2</sub>、フロン等オゾン層破壊物質。  
(総量規制や有害物質として規制しにくい)

# 1. 3 塗装の公害・環境

## 塗装ライン



# 1.4 地球温暖化・CO<sub>2</sub>削減の歴史

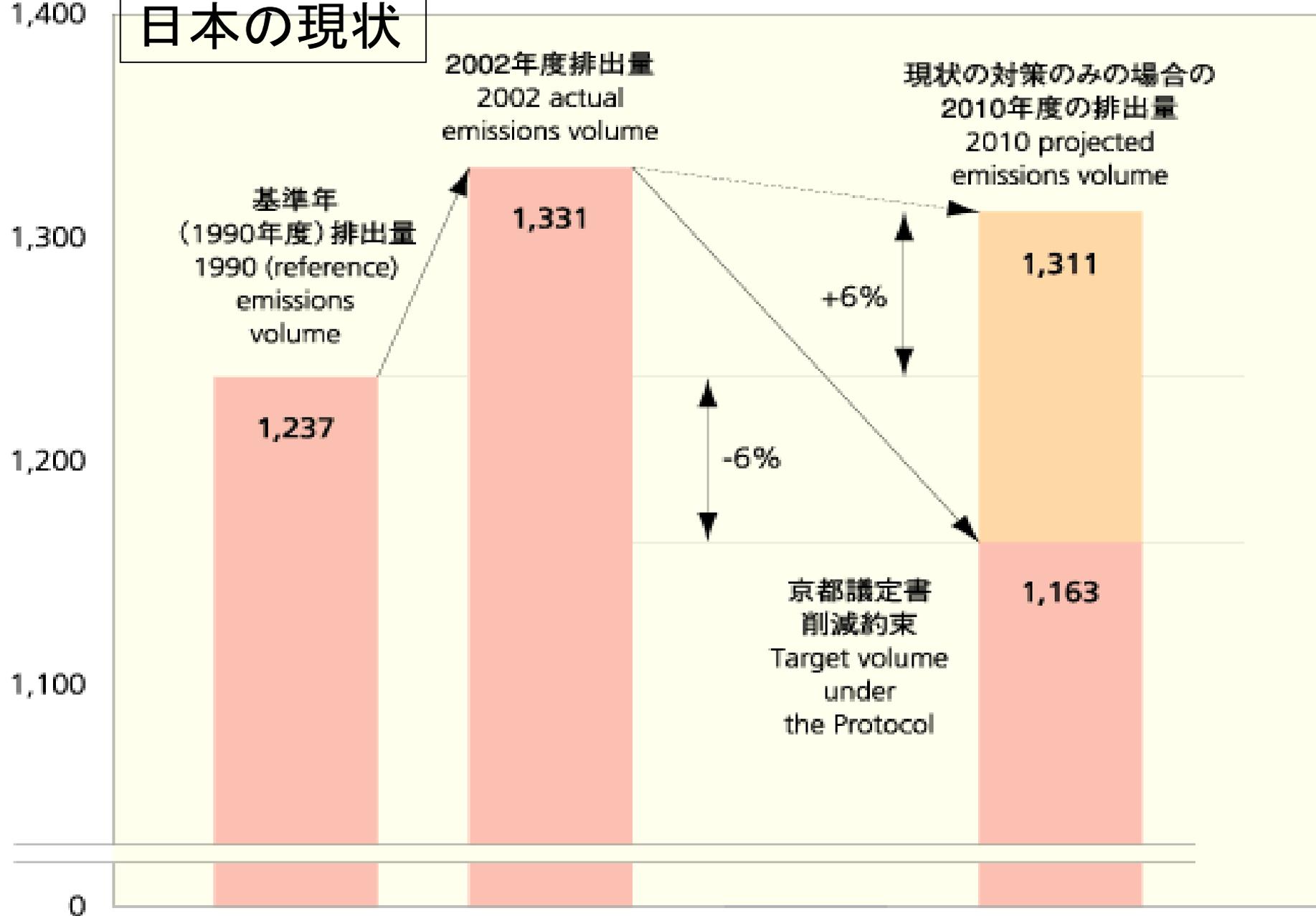
- 石油ショック:化石燃料の枯渇 (1973)
- オゾン層破壊:モントリオール議定書 (1987)
- 地球温暖化防止国際会議・ベルリン (1995)
- **京都議定書** (1997)
- 目標 1990年基準6%削減 (2012)
- **カリフォルニア州CO<sub>2</sub>削減法案** (2006)
- 目標 1990年基準 (2020)
- 1990年の80% (2050)

## 1.5 カリフォルニア州知事調印



単位:百万トン-CO<sub>2</sub> × 1 million tons

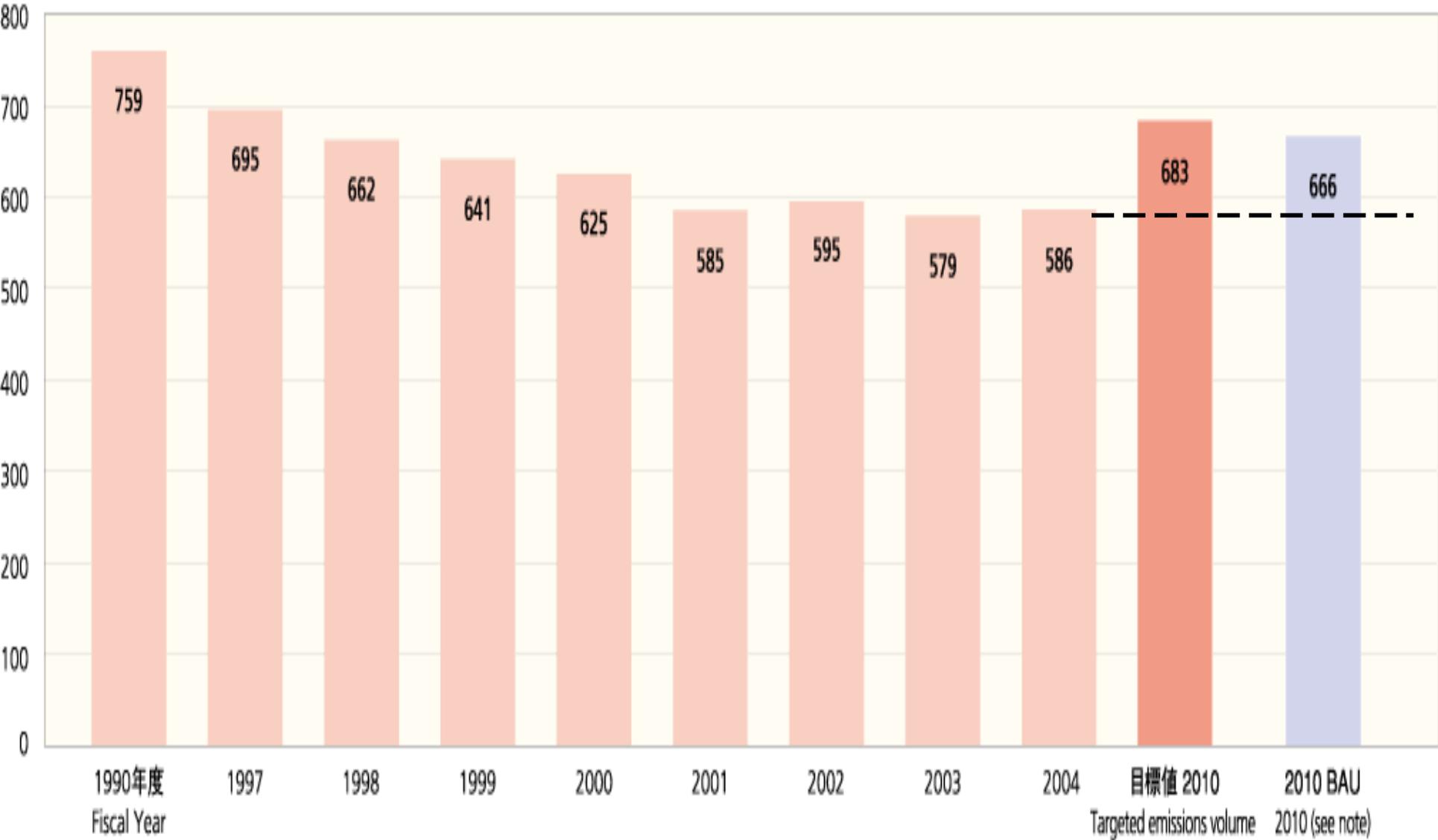
# 日本の現状



資料:環境省 Source: Ministry of the Environment

# 自動車・生産工場からのCO2排出量推移

単位:万トン-CO<sub>2</sub> x 10,000 tons

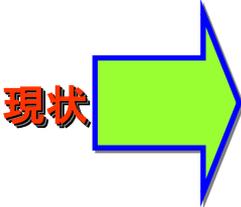


日本自動車工業会調 Source: Japan Automobile Manufacturers Association

## 環境規制強化(CO<sub>2</sub>削減)

1. 京都議定書 我が国は2008年～2012年の5年間平均のCO<sub>2</sub>排出量を1990年比-6%公約。

年間目標排出量 11億8600万トン (基準年-6%)。



2007年のCO<sub>2</sub>発生量≒13億7100万トン。(1990年レベルの8.7%増 )  
 2008年のCO<sub>2</sub>発生量≒12億8200万トン。(1990年レベルの1.6%増 )

世界不況の影響

## 2. 京都議定書目標達成計画 産業部門の削減取組み施策 自主行動計画

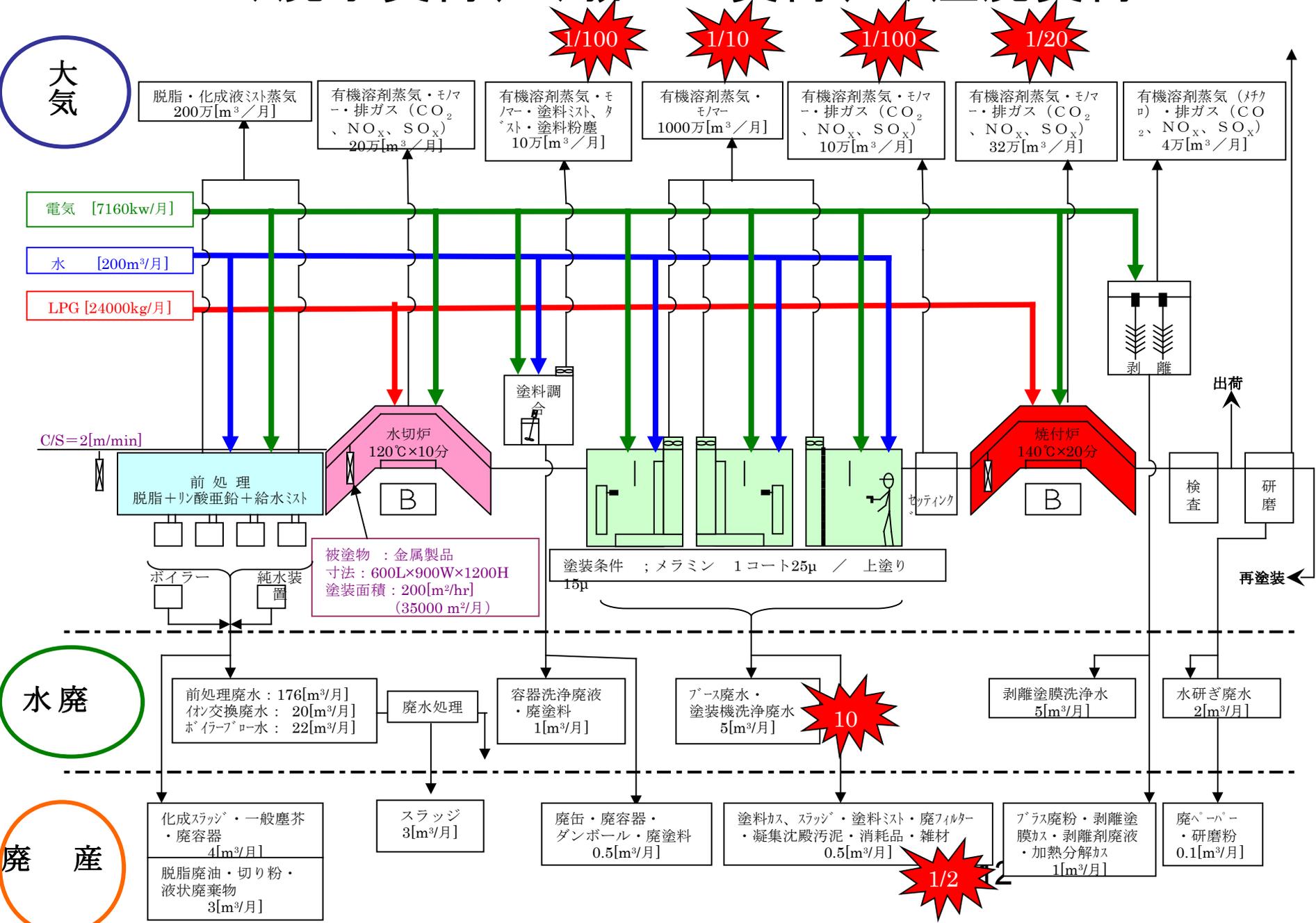
「自主行動計画」		産業用50業種から抜粋	
業種(計画策定主体)	目標指標	基準年度	目標水準
日本鉄鋼連盟	エネルギー消費量	1990年	▲10%
日本自動車工業会	CO <sub>2</sub> 排出量	1990年	▲12.5%
日本自動車部品工業会	CO <sub>2</sub> 排出量	1990年	▲7%
電機・電子4団体	CO <sub>2</sub> 排出原単位	1990年	▲35%
日本産業機械工業会	CO <sub>2</sub> 排出量	1997年	▲12.2%
日本建設機械工業会	エネルギー消費原単位	1990年	▲15%

産業界では工業会ごとに国の承認を得た 自主行動計画を策定し、強力にCO<sub>2</sub>削減に向かって進んでいる。

## 2. 塗装の環境負荷項目

- 前処理(蒸気・電気・水)
  - 水切乾燥(燃料・電気)
  - 塗装(電気・水・蒸気)
  - 焼付乾燥(燃料・電気)
- エネルギー
- 産業廃棄物 → 測定可能
  - 環境汚染物質 → 測定不可能

# 2.1 1) 廃水負荷、2) 排ガス負荷、3) 産廃負荷



# 2.2 エネルギー

発生工程	必要材料 関連機器	エネルギー	使用量(1月)	コスト [円/月]
①剥離 ブラスト処理	剥離設備	電気	40kw	0.1万
②前処理 脱脂 化成処理 水切乾燥	前処理設備	電気 LPG 水	4000kw 13000kg 200m <sup>3</sup>	10万 130万 4万
③調合	換気設備	電気		
④塗装 霧化塗装	ブース	電気 LPG	1500kw 冬1,000kg	4万
⑤セッティング 室温	換気設備	電気	100kw	0.25万
⑥乾燥 熱風乾燥	乾燥設備 排ガス処理設備	電気 LPG	1500kw 7000kg 4000kg	4万 70万 40万
⑦塗膜研磨 空研ぎ	研磨設備 集塵機	電気	10kw	0.02万
⑧塗膜	検査装置、機器	電気	10kw	0.02万

発生工程	必要材料 関連機器	産業廃棄物	廃棄量 〔ton/月〕	処理金額 〔円/月〕	削減対策	効果予測 (量、金額)
①剥離 ブラスト処理	剥離設備	ブラスト廃粉 剥離塗膜カス 剥離剤廃液 加熱分解カス	1	3万		
②前処理 脱脂 化成処理	前処理設備	脱脂廃油 液状廃棄物 研磨粉 一般塵芥 化成スラッジ 廃容器	3 1	9万 5万		
③調合	塗料、シンナー	廃缶 廃容器 ダンボール 廃塗料	0.5	2.5万	コンテナ等 通い容器	
④塗装 霧化塗装	ブース	液系廃塗料 塗装機洗浄廃液 粉系廃塗料 塗料カス、スラッジ 塗料ミスト廃フィルター 凝集沈殿汚泥 消耗品 雑材	5→10万 0.5	15万→30万 2.5万		
⑤乾燥 熱風乾燥	乾燥設備	廃塗料カス 廃フィルター	0.1	0.5万		
⑥塗膜研磨 水研ぎ		廃ペーパー 研磨粉	0.1	0.5万		
⑦塗膜	機器	鉛 クロム含有製品	0.1	0.5万		

2. 4

発生工程	必要材料 関連機器	<b>大気汚染物質</b>	排出量 〔m3/月〕	処理金額 〔円/月〕	削減対策	効果予測 (量、金額)
①剥離 焼却処理	剥離設備	有機溶剤蒸気(メチクロ) 排ガス(CO <sub>2</sub> 、NO <sub>x</sub> 、SO <sub>x</sub> )	<b>4万</b>	—		
②前処理 脱脂 化成処理 水切乾燥	前処理設備	有機溶剤蒸気、モノマー 排ガス(CO <sub>2</sub> 、NO <sub>x</sub> 、SO <sub>x</sub> ) 脱脂、化成液ミスト蒸気	<b>200万 20万</b>	—		
③調合		有機溶剤蒸気、モノマー 塗料ミスト、ダスト、塗料粉塵	<b>10万</b>	—	水性	
④塗装 霧化塗装	ブース 排気ダクト	有機溶剤蒸気、モノマー	<b>1000万</b>	吸着方式 <b>50万円</b>	水性	
⑤セッティング		有機溶剤蒸気、モノマー 排ガス(CO <sub>2</sub> 、NO <sub>x</sub> 、SO <sub>x</sub> )	<b>10万</b>	—	水性	
⑥乾燥 熱風乾燥	乾燥設備	有機溶剤蒸気、モノマー 排ガス(CO <sub>2</sub> 、NO <sub>x</sub> 、SO <sub>x</sub> )	<b>32万</b>	燃焼式 <b>40万円</b>	水性	
⑦塗膜研磨 水研ぎ	研磨設備	研磨粉	<b>1万</b>	—		
⑧塗膜	機器	塩素含有塗料の焼却 有機塗装塗膜焼却、排ガス	<b>1万</b>	— <b>15</b>		

## 2.5 塗装工程の負荷量

### 「一般溶剤塗装ライン・シミュレーション」

- 被塗物： 1m角の箱状の金属製品
- 被塗物面積： 20,000m<sup>2</sup>/月
- コンベアスピード： 2m/分
- 前処理： 脱脂(60℃)
- +リン酸亜鉛化成(50℃)
- 水切乾燥炉： 120℃×10分
- 塗装： メラミン焼付・25μ・レシプロ塗装
- 焼付乾燥炉： 140℃×20分
- 脱臭炉： 直接燃焼(700℃)
- 稼働時間： 8時間/日、22日/月

# 2.6 工程別発生量

単位：月当り

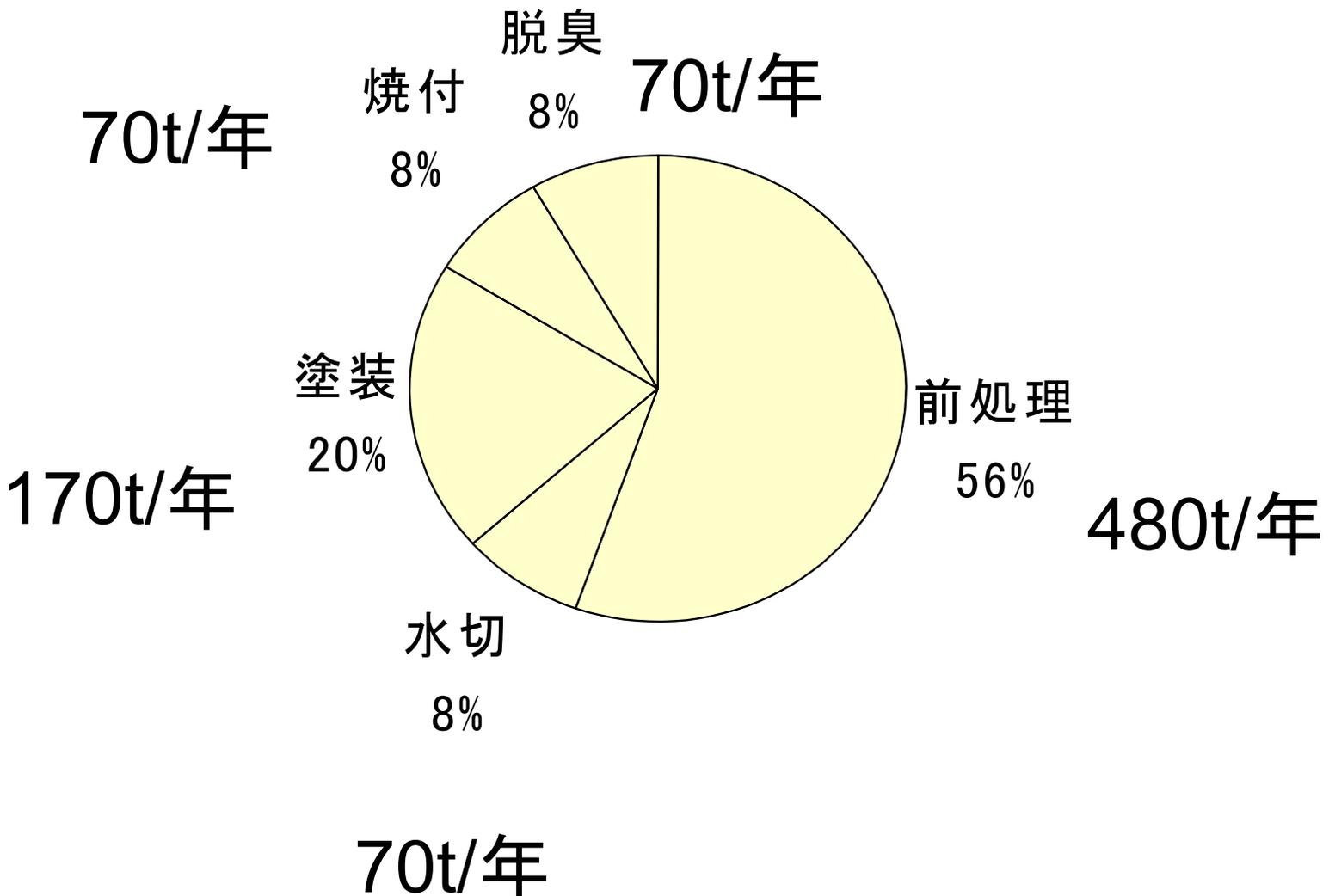
	前処理	水切	塗装	焼付炉	脱臭炉	合計/月
電気	3500kw	700kw	1800kw	1000kw	700kw	7700kw
CO <sub>2</sub>	1225kg	245kg	630kg	350kg	245kg	2695kg
燃料		1800kg		1800kg	1800kg	5400kg
CO <sub>2</sub>		5400kg		5400kg	5400kg	16200kg
水	880m3		150m3			1030m3
CO <sub>2</sub>	387kg		66kg			453kg
蒸気	150ton					150ton
CO <sub>2</sub>	24000kg					24000kg
産廃類	5ton		5ton			10ton
CO <sub>2</sub>	13400kg		13400kg			26800kg
合計CO <sub>2</sub>	39012kg	5645kg	14096kg	5750kg	5645kg	70142kg

# 2.7 金属塗装ライン例 (産業廃棄物負荷込)

CO2量

860 t/年

(自動車:4万 t/年)



## 2.8 ライン別CO2負荷割合

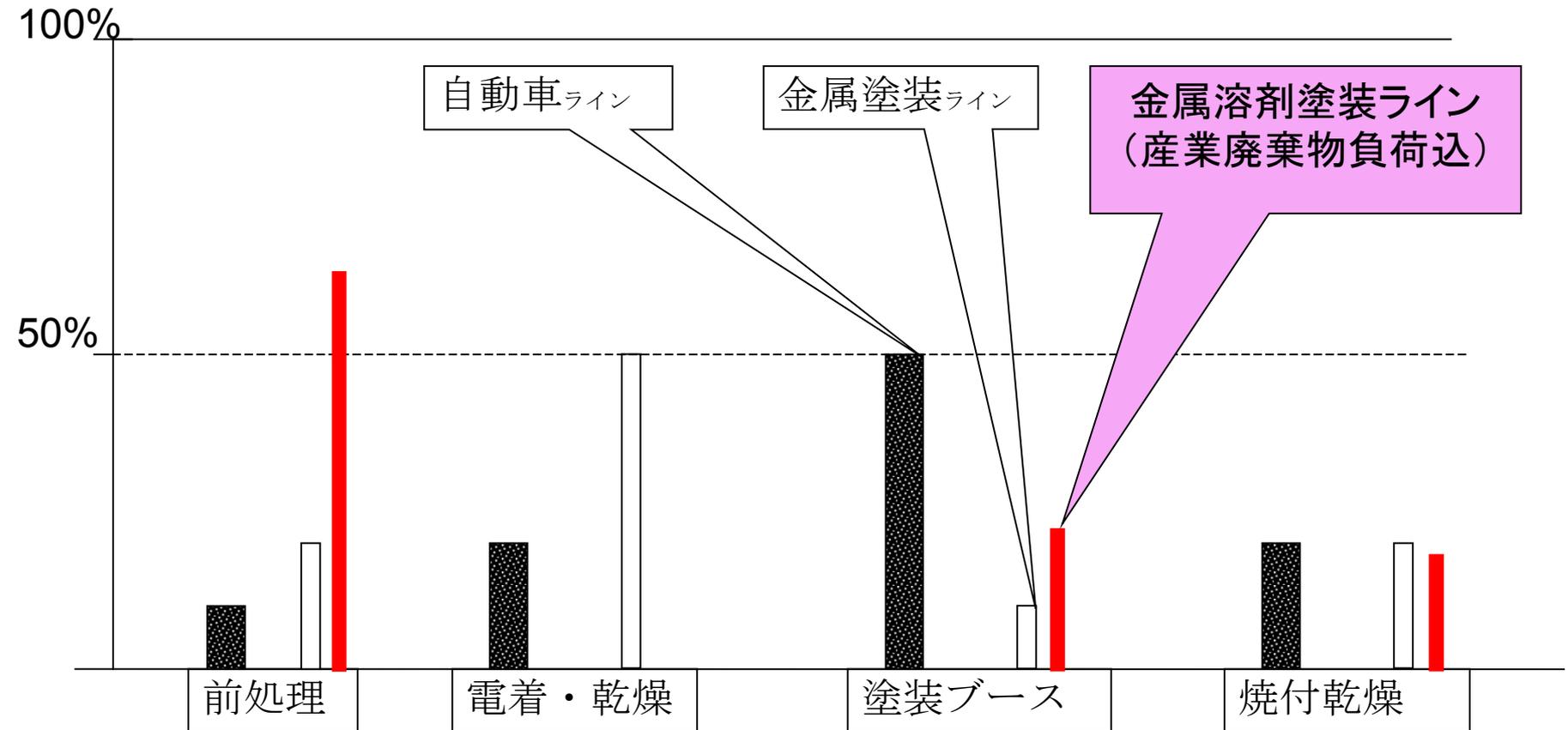
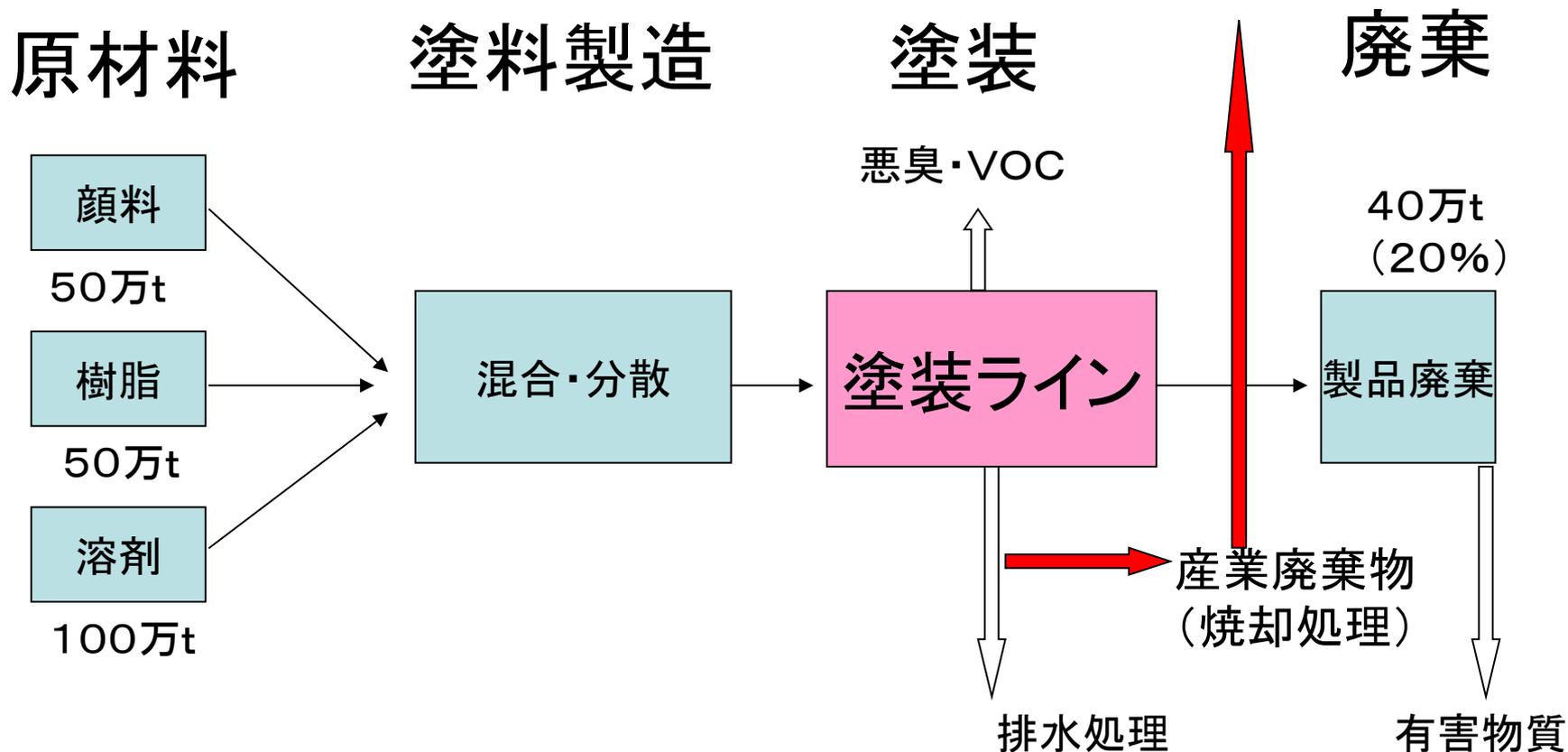


図2 工程別CO<sub>2</sub>負荷割合

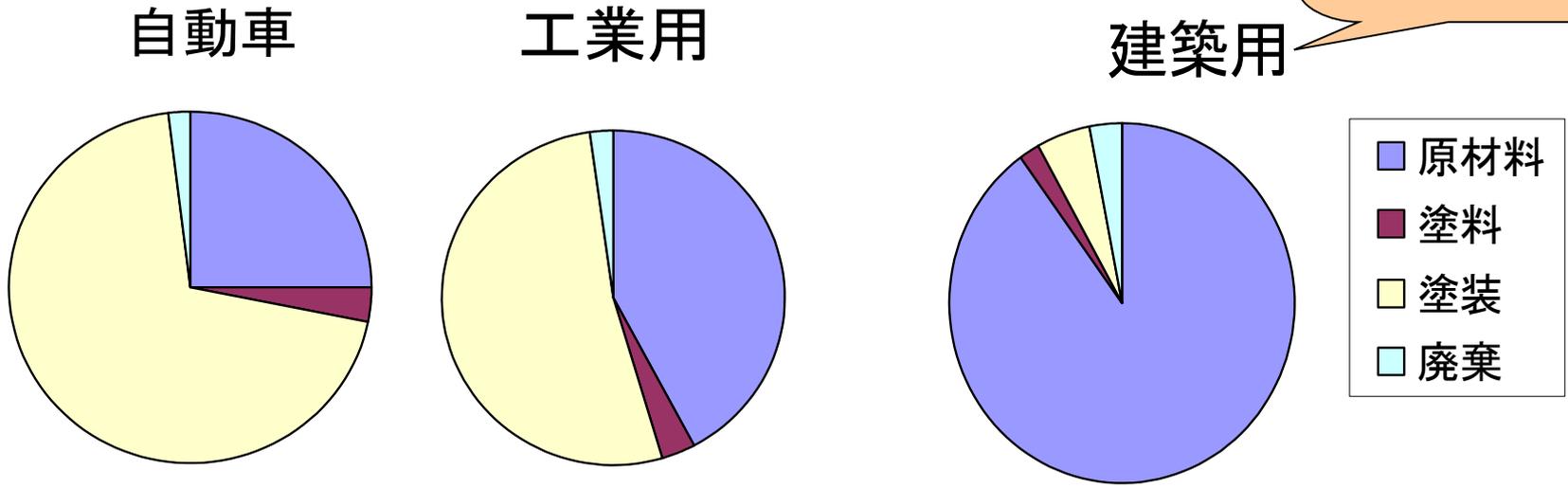
# 2.9 LCAでの環境評価(CO<sub>2</sub>換算)

単位:t/年



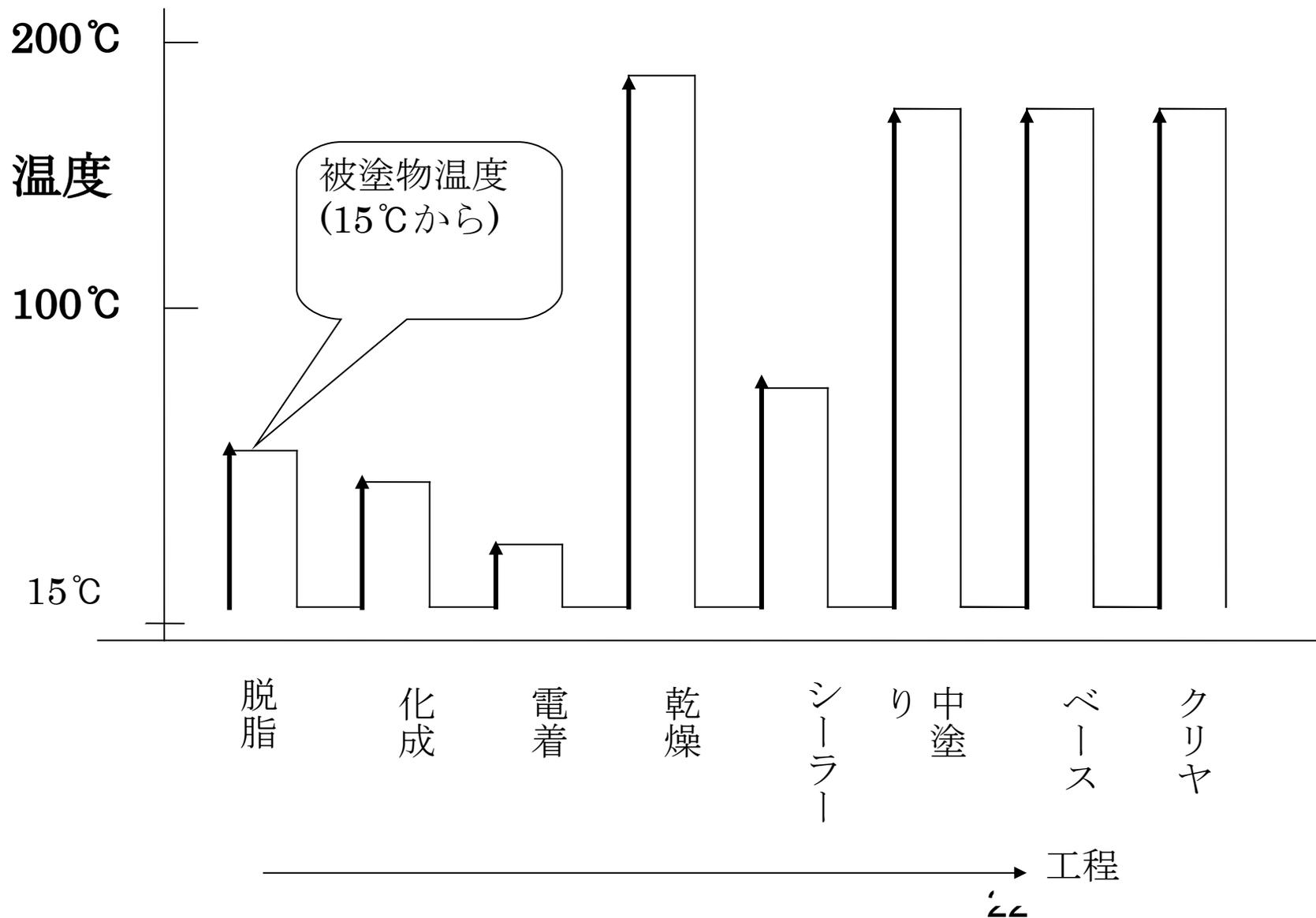
# 2.10 業種別CO<sub>2</sub>発生割合

手動  
自然乾燥



	原材料	塗料製造	塗装	廃棄
自動車	25	3	70	2
工業用	40	3	55	2
建築用	90	2	5	3

# 2.11 昇温工程



# 2.12 塗膜成膜自体に必要なエネルギーとの比較

(単位: kgCO2/月)

	前処理	水切	塗装	焼付	脱臭
全CO <sub>2</sub>	39012	5645	14096	5750	5645
成膜のCO <sub>2</sub>	13000	2250	210	1725	500
成膜機能に係る分	処理液加熱 ポンプ動力	水蒸発 被塗物加熱	塗装機動力	被塗物加熱 溶剤蒸発	溶剤燃焼
その割合	33%	40%	1.5%	30% (3%)	9%

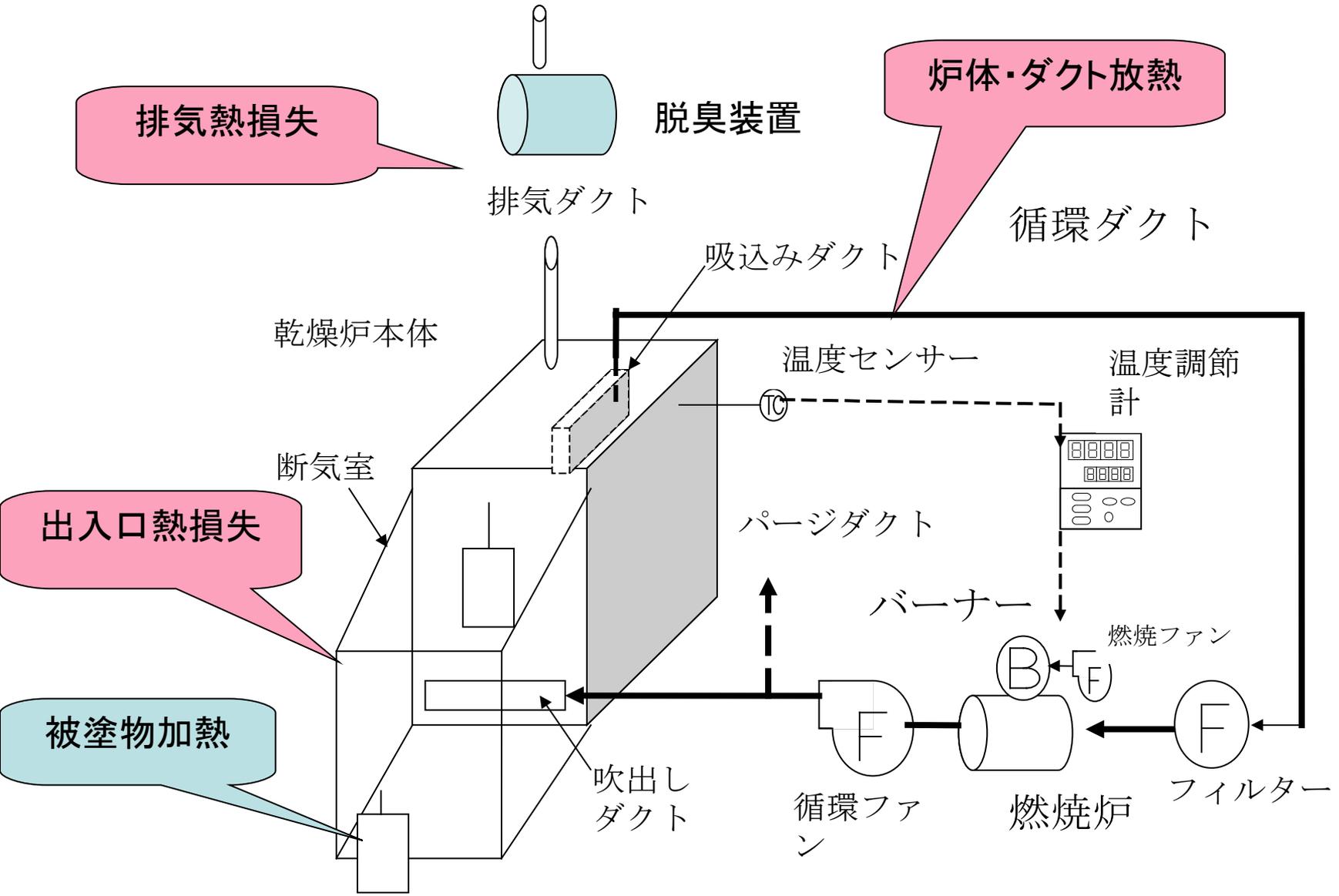
23

参考: 平野「パウダーコーティングVol. 5No1」

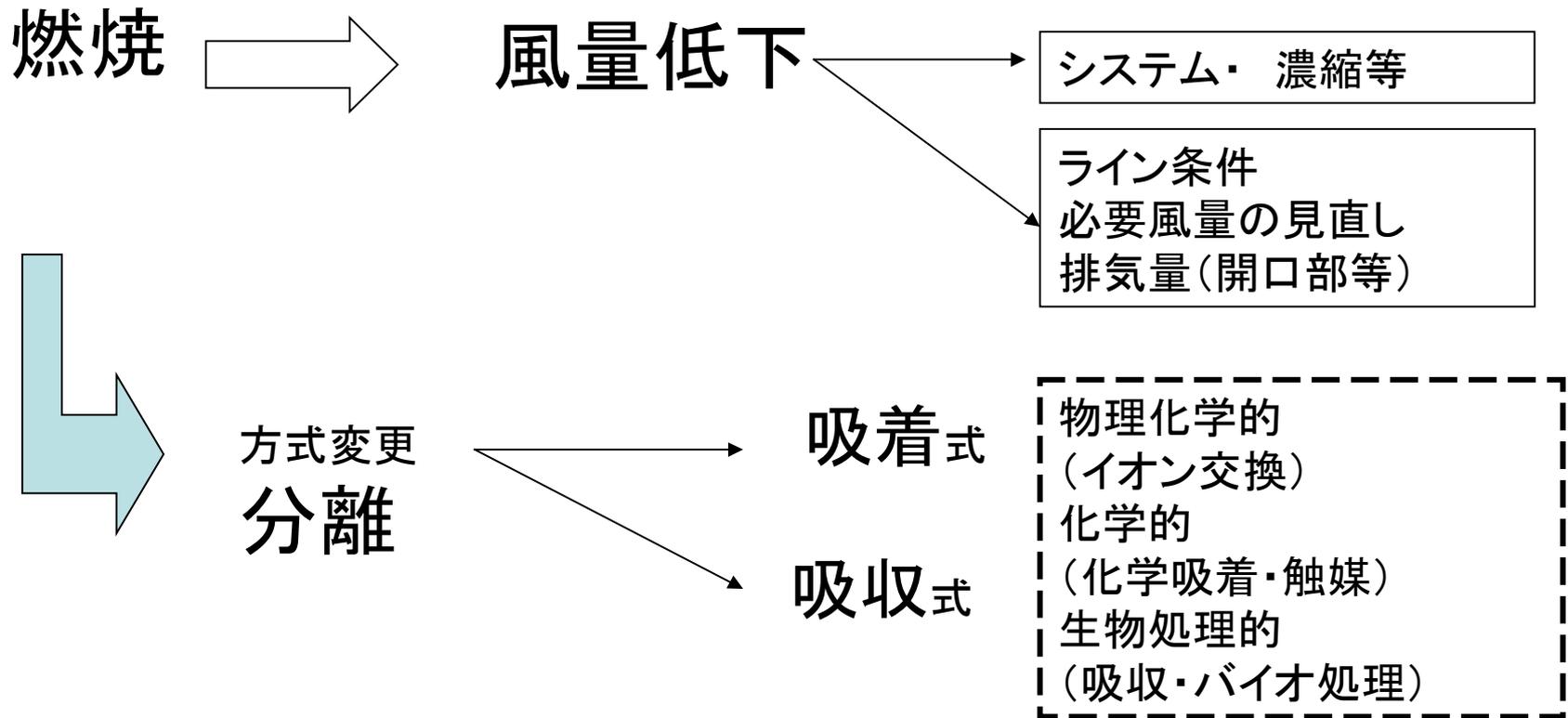
## 2.13 ラインでの削減項目（工程別）

	前処理	水切	塗装	焼付乾燥	脱臭炉
省エネ方策	①排気量の削減 ②スプレー時間の管理 ③処理温度の低下	a. 排気量の削減 b. 休み時間の制御 c. 設定温度の低下	a. 産廃の削減（乾燥） b. ブース水の腐防止 c. ファンの運転管理	a. 排気量の削減 b. 設定温度の低下 c. 循環の見直し	a. 運転時間の管理 b. 脱臭温度の低下 c. 廃熱の回収

### 3. 乾燥炉のCO2削減



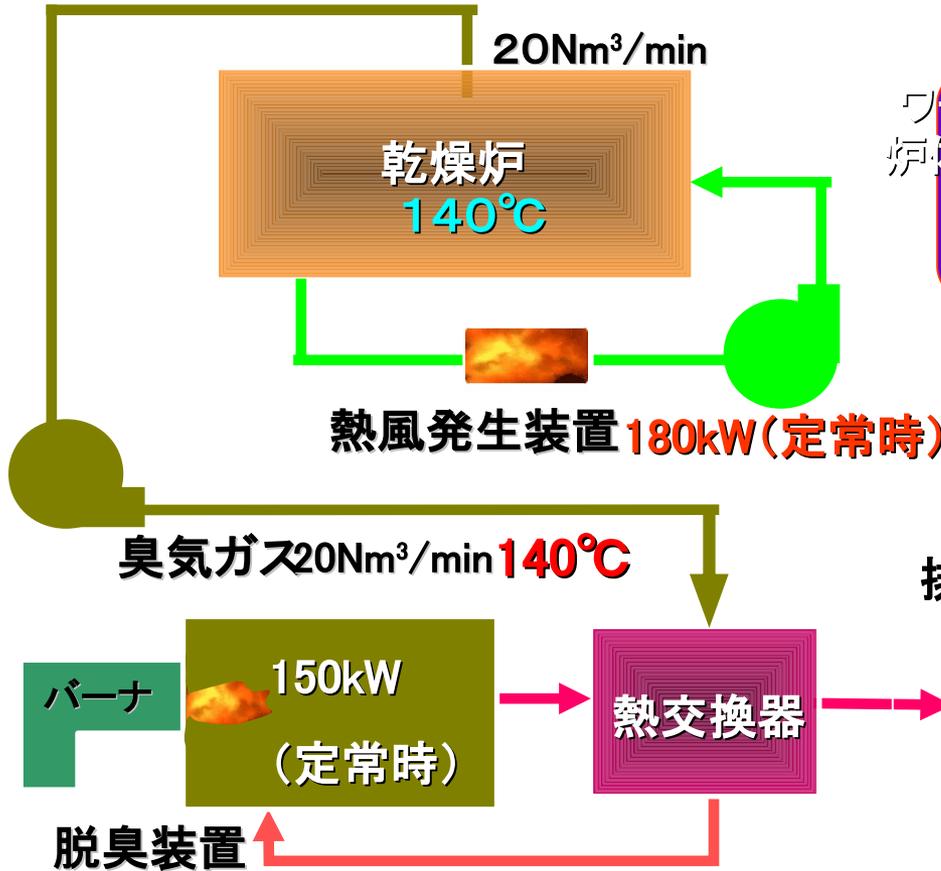
# 3.1 脱臭処理のCO<sub>2</sub>削減対策



課題: 高温ガス・塗料ミスト・ヤニ

# 塗装乾燥炉熱量内訳（一例）

熱負荷のうち排気損失が50%を占める



ワーク負荷: 16%      コンベア負荷: 8%  
 炉体放熱(GW保温100t): 19%      外部ダクト放熱: 4%  
**排気損失: 32%**  
**開口部損失: 21%**

省エネを図ることがテーマ

塗装設備の場合は、省エネ化が  
 充分に進んでいない。

今後、塗装設備に対しての省エネが必要

熱のカスケード技術(省エネ技術)の有効利用が重要。

環境規制強化(CO<sub>2</sub>削減)

各企業独自の削減取組み

各企業とも自主行動計画以上の厳しい目標数字を掲げ、行動を行っている。

例) A社グループの環境保全中期計画

管理指標	基準年度	目標			
		2009年度	2010年度	2011年度	2012年度
CO <sub>2</sub> 排出原単位	1990 (本体生産)	▲16.7%	▲19.2%	▲21.7%	▲24.2%
CO <sub>2</sub> 排出量	1990 (本体生産)	▲24.4%	▲26.7%	▲29.0%	▲31.3%

A社建材塗装前予熱炉設備の省エネ化更新

25% 省エネ達成



**更新**

省エネ化内容

- ① 開放炉を密閉炉に変更
- ② 排熱を熱回収しバーナー用エアに利用
- ③ 排熱を塗装乾燥炉に有効利用



更新前・開放型の予熱炉

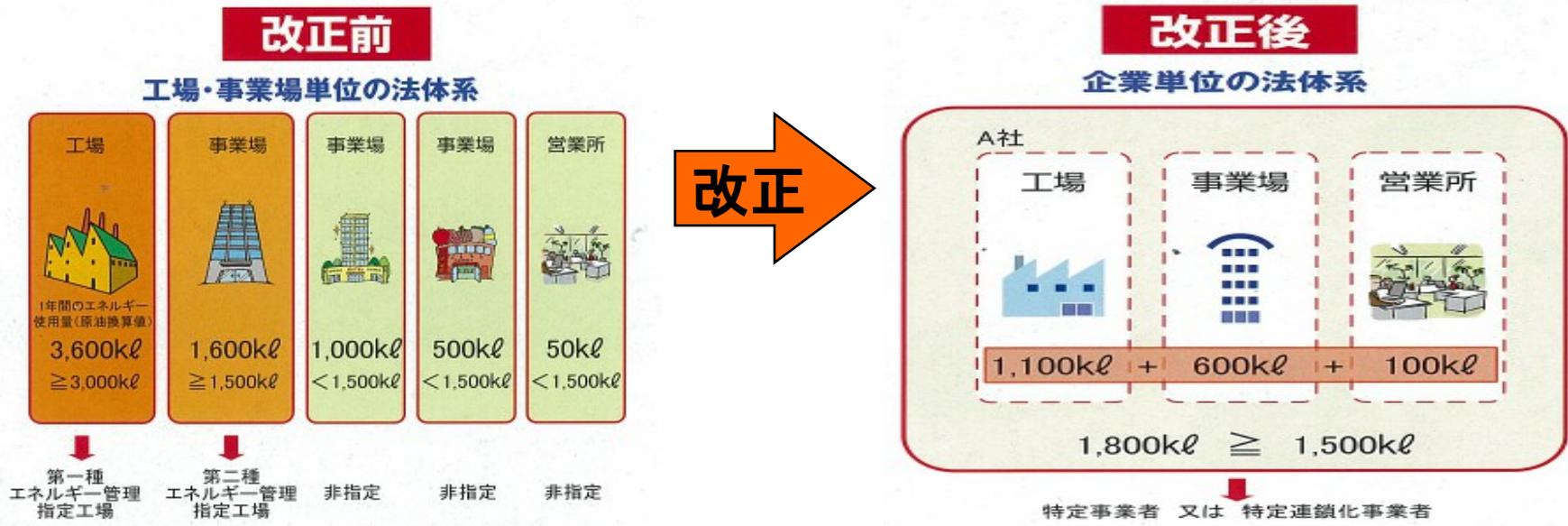
更新後・省エネ予熱炉

設備投資をする場合には、目標数字以上の環境負荷低減が要求される。

# 省エネ法改正とVOC規制

省エネ法改正(2010年4月施行)

**省エネ規制が事業所単位から企業単位に変わりました。**



省エネ規制が ≒ 13,000事業所から → ≒ 10,000企業に増加。  
(産業の総エネルギーの80%を網羅。)

**エネルギー管理指定工場は温室効果ガス排出量を国へ提出する義務を負う(平成18年度より)。**

益々、環境問題(省エネルギー)の規制が厳しくなっている。

## 環境対策に対する弊社のご提案

### 1. 改正大気汚染防止法

- ① 塗装設備(吹付塗装)・・・排風能力100,000m<sup>3</sup>/時以上
- ② 塗装用乾燥施設(吹付、電着以外)・・・排風能力10,000m<sup>3</sup>/時以上

### 2. 悪臭防止法、自治体の規制強化 臭気指数 = $10 \times \text{Log}(\text{臭気濃度})$

### 3. 近隣住民からの悪臭苦情

### 4. 省エネ法改正 事業所単位から企業単位へ

### 5. 省コスト



## 乾燥炉の改善・改良事例

### 概要

大手自動車メーカー： サスペンション部品の電着塗装乾燥炉

既設設備のシステムフロー見直しによる省エネ及びNO<sub>x</sub>対策

脱臭炉及び付帯ダクトの更新

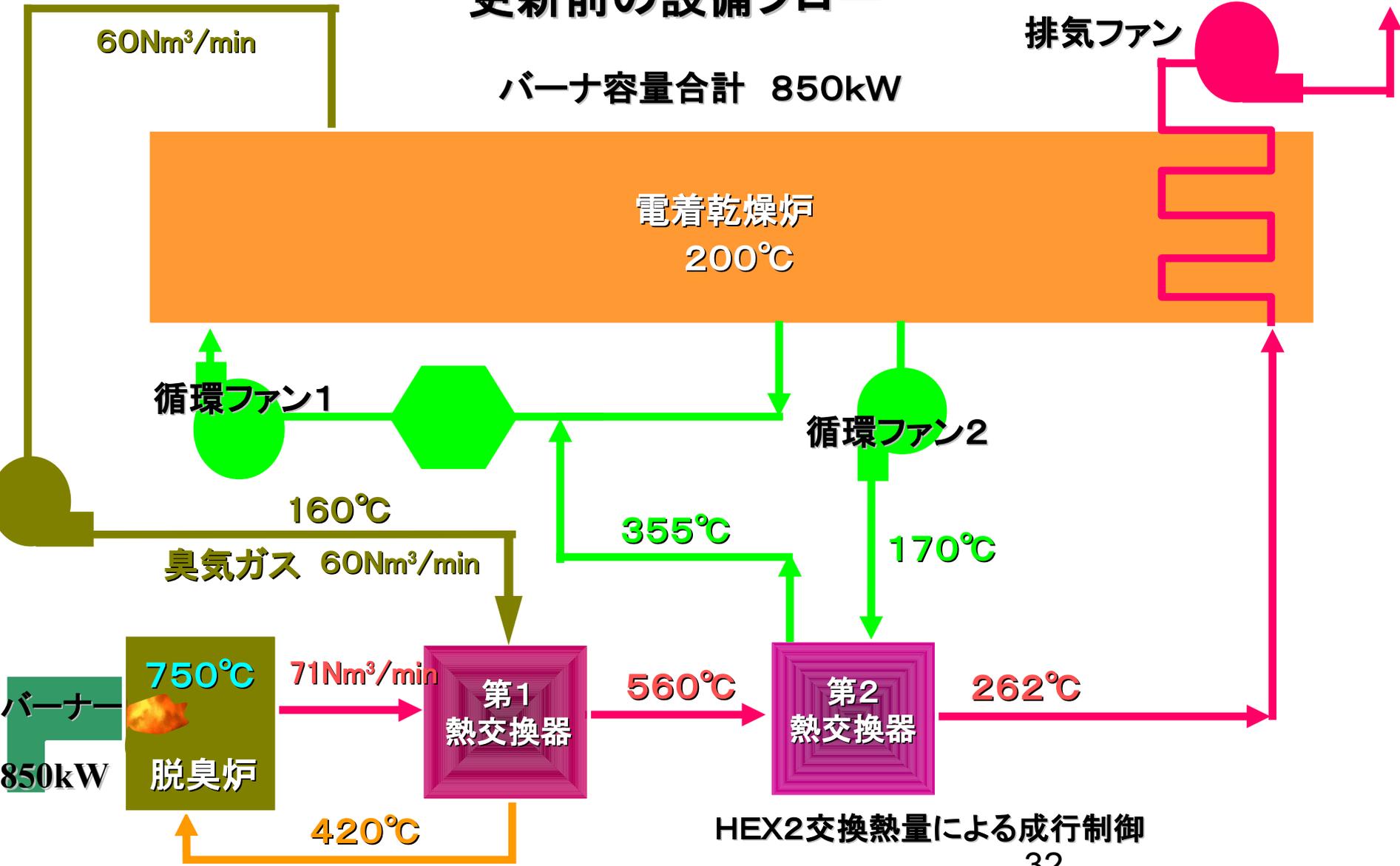
温度制御方法最適化（扉開閉等による外乱応答性向上策）

廃熱回収率向上によるエネルギー使用量低減

バックアップバーナ追加による応答性向上

### 更新前の設備フロー

バーナ容量合計 850kW



HEX2交換熱量による成行制御

## 乾燥炉・脱臭炉仕様

炉長 W3,800 × L17,500 × H2,800 (タクト式 平炉)

脱臭量 60Nm<sup>3</sup>/min

ワーク質量 165kg/ハンガー (9トン/h)

・電着乾燥炉熱源は脱臭炉の廃熱を使用し、扉開閉による外乱応答性を高めるため、バックアップバーナを追加し、制御方法も更新

乾燥炉	電着
炉内温度	200°C (MAX220°C)
循環風量	600m <sup>3</sup> /min

## 必要熱量試算

条件	現状設備 200°C運転	現状設備 220°C運転	更新後 220°C運転
合計	850kW	1025kW	756kW

現状設備では廃熱回収率が低く、炉内温度MAX200°Cであり、能力100%での運転である。塗料焼付け条件を考慮してMAX220°C程度までアップさせたいが、燃料使用量は現状(850kW)をキープしたい。

**同条件での削減率 -26%**

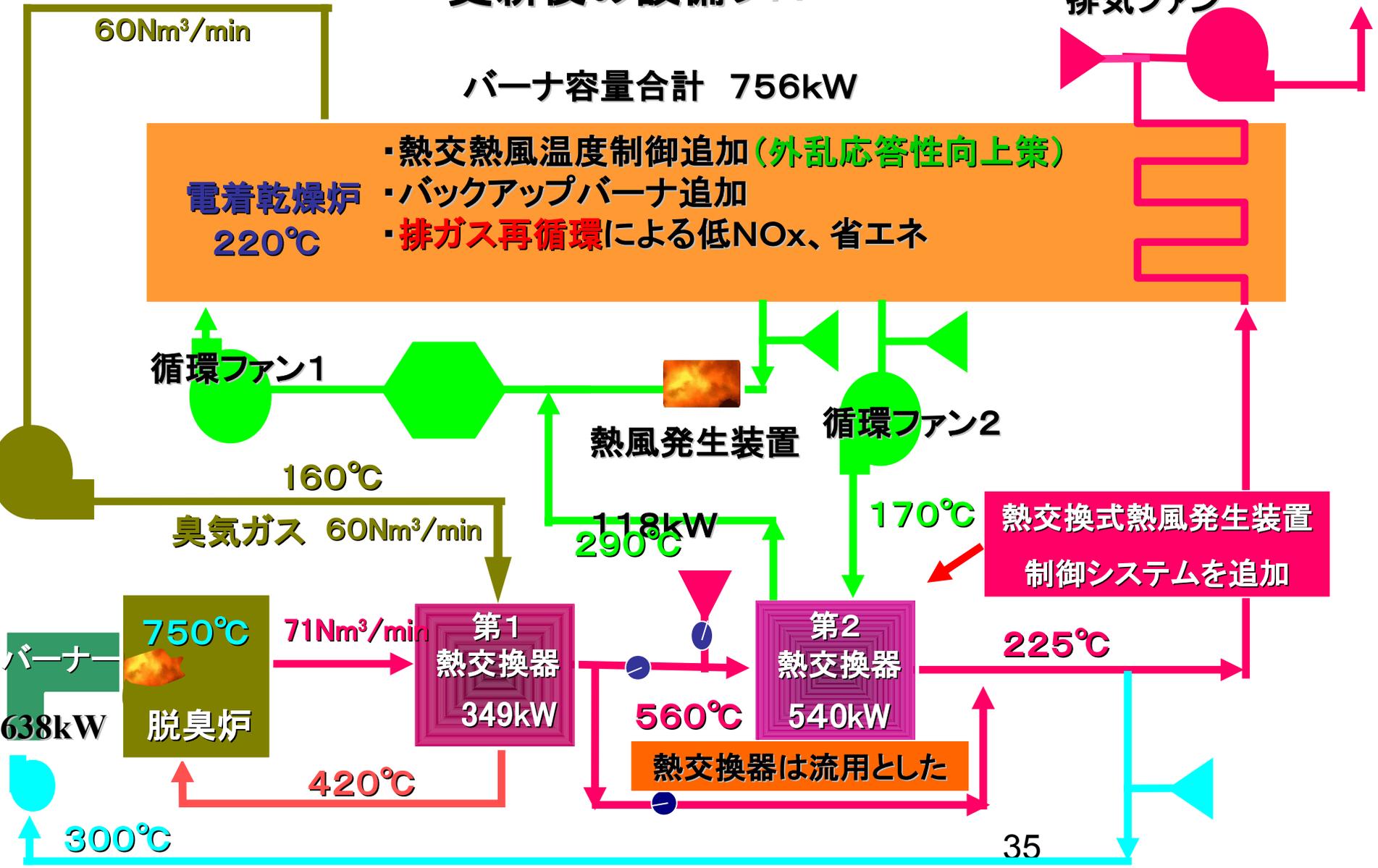
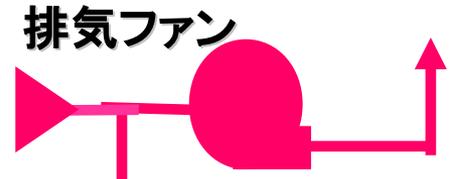
**(2020年度CO<sub>2</sub>削減目標 達成)**

# 更新後の設備フロー

バーナ容量合計 756kW

**電着乾燥炉 220°C**

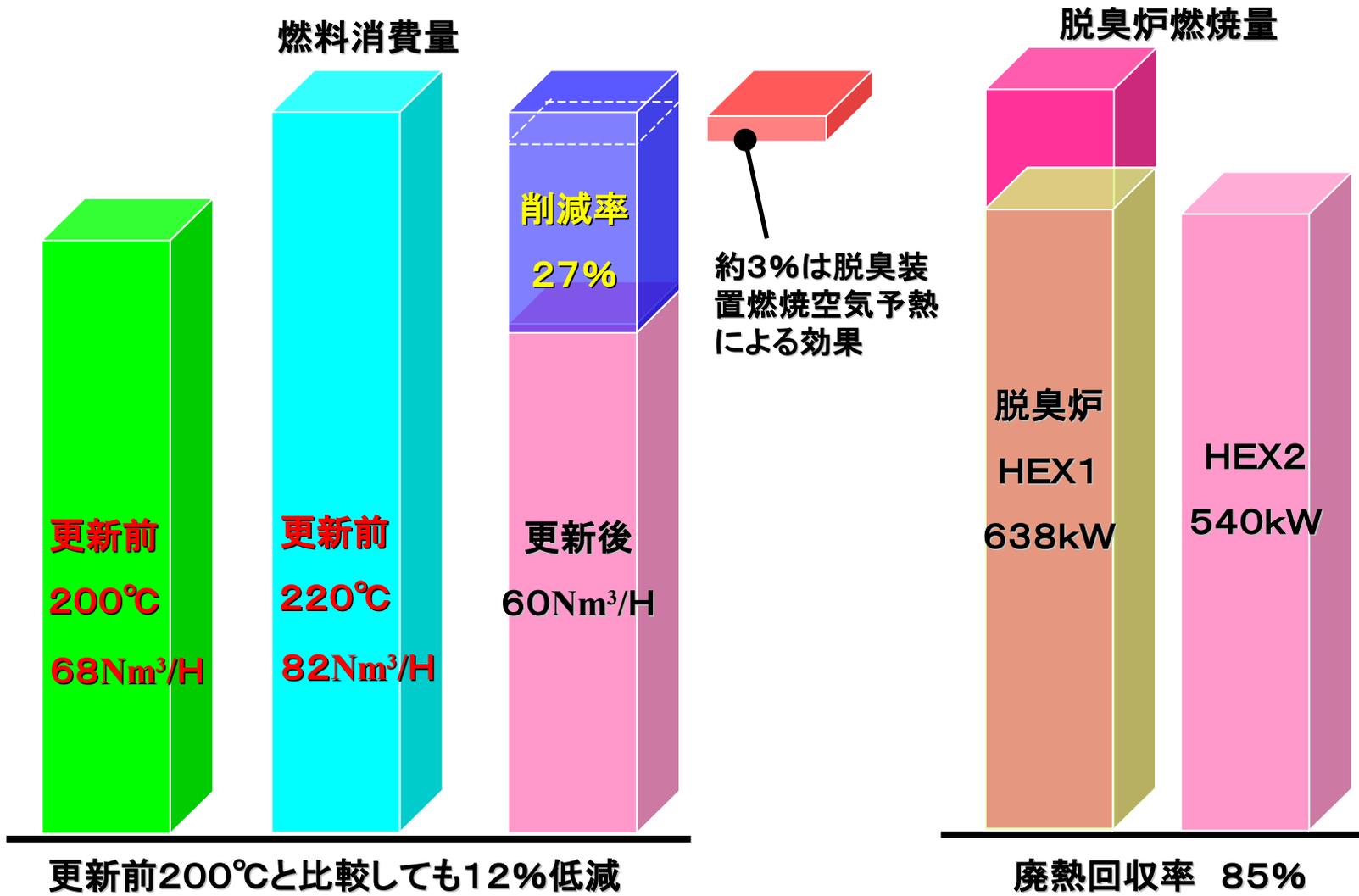
- ・熱交熱風温度制御追加 (外乱応答性向上策)
- ・バックアップバーナ追加
- ・排ガス再循環による低NOx、省エネ



熱交換器は流用とした

熱交換式熱風発生装置 制御システムを追加

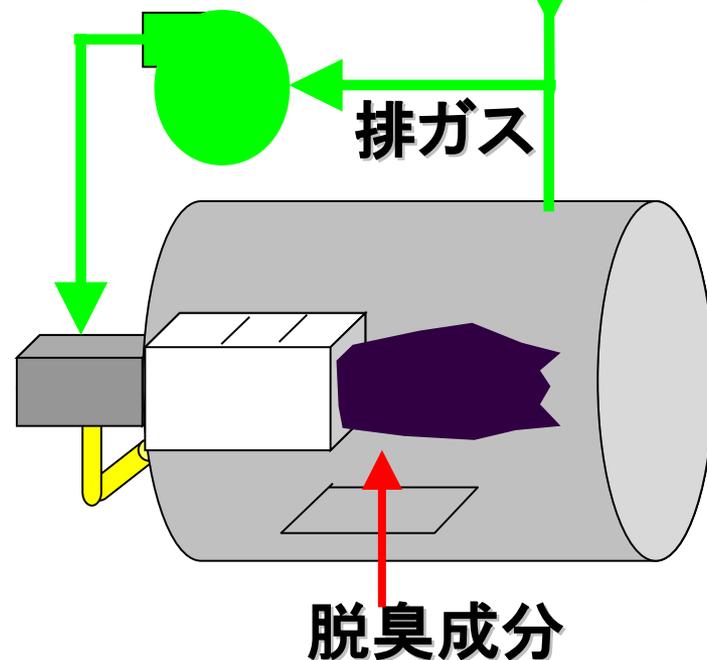
## 廃熱回収効果



## 排ガス再循環方式

- 燃焼排ガスの一部を燃焼用空気に混入して燃焼させ、火炎の最高温度を低下させることにより窒素酸化物の発生を抑制する技術。**EGR**と略称することもあり、自己再循環方式等、様々な手法がある。
- 排ガスを混入した燃焼用の空気は通常に比べて酸素濃度が低く、燃焼速度が遅くなることで火炎温度の上昇を抑え、**サーマルNOx**の生成を抑制することができる。

予熱空気使用による省エネ  
バーナ容量の5%程度



酸素濃度 17~18%  
程度(本案件の場合)

## 熱交換式熱風発生装置の特長

### メリット

燃焼排ガスの存在しないクリーンな熱風が得られる

廃熱を有効利用すればランニングコストが低減できる

(量産ラインは廃熱利用の宝庫！)

### 検討が必要な項目

- ・直接燃焼式と比較して乾燥炉の立ち上がり時間が増大する
- ・外乱応答性が低いので対応策が必要な場合が多い
- ・熱交換器が大型のため、設置スペースが必要
- ・交換熱量の制御は放熱側風量変更により行うため、高温用の制御ダンパが必要

## ランニングメリット試算

### 改修前後での比較

$8\text{Nm}^3/\text{H} \times 10\text{時間} \times 240\text{日} \times 100\text{円}/\text{m}^3 = 192\text{万円}/\text{年}$

CO<sub>2</sub>削減量 44トン/年

### 同一温度条件(炉内温度220°Cでの比較)

$22\text{Nm}^3/\text{H} \times 10\text{時間} \times 240\text{日} \times 100\text{円}/\text{m}^3 = 528\text{万円}/\text{年}$

CO<sub>2</sub>削減量 121トン/年

**熱交換器流用、焼付け温度アップの条件であったが、  
現状比較12%(同一条件では27%)の省エネが達成できた。**

都市ガス料金、稼働時間はシミュレーション上の値で実際とは異なります。

都市ガス13AのCO<sub>2</sub>発生量は(社)日本ガス協会発行 2.29tonCO<sub>2</sub>/千Nm<sup>3</sup>を使用。

## 3.14 将来の夢

# 再生可能エネルギーへの挑戦

(省エネ・3R以外の代替方策)

- 太陽熱：ソーラーシステム
- (塗装工場の屋根)
- 風力：塗装ブースの大量排気
- 水力：前処理・ブースでの大量の循環水
- バイオマス：塗装ラインの動力源・溶剤原料
  
- 地熱：地下温水活用
- 海洋エネルギー：海浜地帯での発電

# 終わりに：資料

- 本資料及び環境技術分科会の資料は
- 日本塗装機械工業会のホームページの中の
- 「工業塗装高度化協議会 関連情報」
- <http://cosmos.amris.co.jp/cema/documents/index.htm>
- に掲載しております。
- その他、CEMA各社のVOC対策資料、カタログも
- 掲載しております。