

国際協力事業団

ポーランド共和国

経済省

ポーランド省エネルギー公社

ポーランド国
省エネルギー計画マスタープラン調査
最終報告書

IV ガイドライン

1999年6月

JICA LIBRARY



J1151179(7)

財団法人省エネルギーセンター
財団法人日本エネルギー経済研究所

敏調工

JR

99-114 (3/4)

国際協力事業団

ポーランド共和国

経済省

ポーランド省エネルギー公社

ポーランド国
省エネルギー計画マスタープラン調査
最終報告書

IV ガイドライン

1999年6月

財団法人省エネルギーセンター
財団法人日本エネルギー経済研究所



1151179 [7]

IV ガイドライン

目 次

1. 鉄鋼業の省エネルギー
 - 1.1 まえがき
 - 1.2 鉄鋼一貫製鉄所のプロセスの概要と省エネルギーテーマ
 - 1.2.1 焼結設備
 - 1.2.1.1 焼結設備
 - 1.2.1.2 コークス炉
 - 1.2.1.3 高炉
 - 1.2.2 製鋼
 - 1.2.3 圧延
 - 1.2.4 エネルギー設備
 - 1.2.4.1 発電送風プラント
 - 1.2.4.2 酸素プラント
 - 1.3 電炉工場鋳物工場および鍛造工場のプロセス概要と省エネルギーテーマ
 - 1.3.1 電気炉
 - 1.3.2 圧延加熱炉
 - 1.3.3 鍛造加熱炉
 - 1.3.4 鋳鉄工場の溶解炉
2. 化学工業の省エネルギー
 - 2.1 化学工業におけるエネルギー使用の特徴
 - 2.2 熱エネルギー使用の合理化
 - 2.2.1 燃焼装置
 - 2.2.2 伝熱装置
 - 2.2.3 反応装置
 - 2.2.4 蒸留装置
 - 2.2.5 蒸発装置
 - 2.2.6 乾燥装置
 - 2.2.7 ヒートポンプ、冷凍装置

- 2.2.8 加熱炉
- 2.3 各製造プロセスの省エネルギー
 - 2.3.1 コールタール蒸留
 - 2.3.2 ベンゼン蒸留
 - 2.3.3 エチルベンゼン合成
 - 2.3.4 染料工業の省エネルギー
 - 2.3.5 蒸気、氷と圧縮空気の供給法式について
- 3. 機械工業の省エネルギー
 - 3.1 一般的な製造工程とエネルギーおよびエネルギー原単位
 - 3.2 工程ごとの省エネルギーと管理指標
 - 3.2.1 鋳造
 - 3.2.2 機械加工
 - 3.2.3 組立（エンジン組立、車体組立）・塗装・乾燥工程
 - 3.3 機械工業全体に共通した省エネルギー項目
 - 3.4 日本の機械工業のエネルギー原単位水準
- 4. 窯業の省エネルギー
 - 4.1 ガラス工業の省エネルギー
 - 4.1.1 まえがき
 - 4.1.2 ガラス製造工場のプロセス概要と全般の省エネルギーの進め方
 - 4.1.3 ガラス製造工場の各プロセスと省エネルギーの進め方
 - 4.1.4 日本のガラス工業の省エネルギー成果
 - 4.2 シリカブロック工業の省エネルギー
 - 4.2.1 まえがき
 - 4.2.2 珪酸カルシウム水和物
 - 4.2.3 オートクレーブの省エネルギー
 - 4.2.4 オートクレーブ養生工程の改善による省エネルギー事例
 - 4.2.5 排気再燃型コージェネレーションシステム導入による省エネルギー事例
- 5. 食品工業の省エネルギー
 - 5.1 食用油工業の省エネルギー

- 5.1.1 製造工程
- 5.1.2 エネルギー使用の合理化対策
- 5.2 食肉加工業の省エネルギー
 - 5.2.1 製造工程
 - 5.2.2 エネルギー使用の合理的対策
- 5.3 乳製品工業の省エネルギー
 - 5.3.1 製造工程
 - 5.3.2 エネルギー使用の合理的対策

- 6. 照明の省エネルギー
 - 6.1 照明用語と単位
 - 6.1.1 光束
 - 6.1.2 光度
 - 6.1.3 照度
 - 6.1.4 輝度
 - 6.1.5 光束発散度
 - 6.1.6 配光
 - 6.2 光源の色温度と演色性
 - 6.2.1 色温度
 - 6.2.2 演色性
 - 6.3 光源
 - 6.3.1 光源の性能要素
 - 6.3.2 白熱電球
 - 6.3.3 蛍光ランプ
 - 6.3.4 高圧水銀ランプ
 - 6.3.5 メタルハライドランプ
 - 6.3.6 高圧ナトリウムランプ
 - 6.3.7 低圧ナトリウムランプ
 - 6.3.8 各種光源の特性比較
 - 6.4 工場照明
 - 6.4.1 工場照明の目的
 - 6.4.2 よい工場照明

6.5 照明の省エネルギー

6.6 省エネルギーと具体策

- 6.6.1 点灯時間を減らすこと
- 6.6.2 配電線の損失を減らすこと
- 6.6.3 照度を適正に保つ
- 6.6.4 効率の高い器具を使用する
- 6.6.5 照明率の向上
- 6.6.6 保守率の向上
- 6.6.7 その他

7. エアコンプレッサの省エネルギー

7.1 空気圧システム

- 7.1.1 空気圧システムの構成
- 7.1.2 空気圧システムの特徴
- 7.1.3 空気圧システムの省エネルギーのポイント

7.2 圧縮空気の性質

- 7.2.1 用語
- 7.2.2 空気中の水分

7.3 圧縮空気の流れ

- 7.3.1 連続の式
- 7.3.2 圧縮性流体のエネルギー式
- 7.3.3 オリフィスを通る流れ
- 7.3.4 実用流量計算式

7.4 空気圧縮機

- 7.4.1 機種および特性
- 7.4.2 容量制御
- 7.4.3 台数制御

7.5 圧縮空気設備の省エネルギー対策

- 7.5.1 吸入温度の低下
- 7.5.2 中間冷却器の冷却効果
- 7.5.3 吐出圧力および使用量の低減
- 7.5.4 隙間、穴等からの空気漏れ

7.5.5 圧縮空気設備の管理

8. 電動機の省エネルギー

8.1 負荷および電動機設備を新設する場合

- 8.1.1 電動力応用に関する基本式
- 8.1.2 電動機選定上の負荷条件
- 8.1.3 負荷のトルク特性
- 8.1.4 負荷の GD^2
- 8.1.5 負荷の時間特性
- 8.1.6 電動機の種類と効率、力率
- 8.1.7 電動機の電圧の選定
- 8.1.8 高効率電動機の採用
- 8.1.9 誘導電動機の回転数制御

8.2 既設設備の小幅な改造によって省エネルギーを図る場合

- 8.2.1 誘導電動機と電圧管理
- 8.2.2 空転の防止と起動損失の低減
- 8.2.3 誘導電動機の回転数制御
- 8.2.4 その他の対策
- 8.2.5 回転数制御の計算例

9. 変圧器の省エネルギー

9.1 変圧器の選択

- 9.1.1 変圧器の効率は、次式で表わされる。
- 9.1.2 変圧器の全日効率
- 9.1.3 省エネルギー形変圧器

9.2 変圧器の効率的運転

- 9.2.1 軽負荷変圧器の停止
- 9.2.2 変圧器の台数制御
- 9.2.3 夜間、休日の変圧器の停止

9.3 変圧器のタップの選定

10. 工場暖房における省エネルギー

10.1 大空間工場の空調

10.1.1 生産設備の特徴

10.1.2 大空間生産施設の特徴と空調設備計画

10.1.3 工場暖房

10.2 暖房システム・機器

10.2.1 大規模新聞印刷工場の空調システム

10.2.2 灯油・ガス焚き遠赤外線ヒータ

10.2.3 遠赤外暖房の利用例

10.2.4 工場暖房システム事例

10.3 工場暖房の改善事例

10.3.1 高天井工場における暖房設備の改善

10.3.2 暖房用温水温度変更による省電力

10.3.3 高風速ノズルによる温度分布の改善

10.3.4 重油焚き熱風暖房を蒸気式温風暖房に改造して効率向上

10.3.5 室内温度のモニタリング制御化

10.3.6 工場排熱利用による暖房・給湯システム

10.3.7 高天井部ダクト誘引吹出し方式

本章 引用文献

11. ボイラの省エネルギー

11.1 分類

11.1.1 丸ボイラ

11.1.2 水管ボイラ

11.1.3 貫流ボイラ

11.1.4 その他

11.2 ボイラ事故防止

11.2.1 運転および点検マニュアル設定と教育

11.2.2 安全設備

11.2.3 運転上の注意

11.3 ボイラ容量の表現

11.3.1 定格蒸発量

11.3.2 換算蒸発量

11.4 ボイラの熱勘定

11.4.1 高発熱量から低発熱量を求める方法

11.4.2 燃料および空気の比熱

11.4.3 空気量

11.4.4 発生蒸気の吸収した熱

11.4.5 排ガス損失

11.4.6 炉内吹き込み蒸気

11.4.7 不完全燃焼ガスによる熱損失

11.4.8 燃えがら中の未燃分による熱損失

11.4.9 放散熱による熱損失

11.4.10 その他の熱損失

11.5 ボイラの性能表示

11.6 設備段階での配慮

11.6.1 コジェネレーション

11.6.2 蒸気需要変動への対処

11.6.3 適正な容量のボイラ設置

11.7 ボイラの省エネルギー対策

11.7.1 空気比

11.7.2 排ガス温度

11.7.3 放熱防止

11.7.4 補機の省エネルギー

11.7.5 運転

11.7.6 日常管理

11.7.7 事例

12. 加熱炉の省エネルギー

12.1 空気比 (排ガス量の低減)

12.1.1 排ガス中の酸素と空気比

12.1.2 排ガス損失

12.1.3 空気比低減による燃料低減

12.1.4 日本における空気比の基準

12.1.5 日本における空気比の実態

- 12.1.6 スケールの生成量
- 12.1.7 排ガス系統への外部空気の漏れ込み
- 12.2 排ガス温度の低下
 - 12.2.1 空気予熱による燃料節減
 - 12.2.2 日本の排熱回収率の基準
- 12.3 炉壁・冷却水からの熱損失の低減
 - 12.3.1 炉壁からの放熱量
 - 12.3.2 炉壁の断熱の強化
- 12.4 製鉄用圧延連続加熱炉の省エネルギー
 - 12.4.1 熱片装入、低温抽出
 - 12.4.2 水冷スキッドの放熱低減
 - 12.4.3 連続加熱炉の熱勘定
 - 12.4.4 熱勘定表の様式
- 12.5 省エネルギー事例
 - 12.5.1 加熱炉の省エネルギー事例
 - 12.5.2 省エネルギー事例発表大会

List of Tables

Table 1.1	Heat Balance of a Reheating Furnace
Table 1.2	Heat Balance of an Arc Furnace (Example)
Table 1.3	Relationship between Furnace Capacity, Required Size and Electrical Equipment
Table 1.4	Effect of Alternative Energy on Electricity Conservation
Table 1.5	Relationship between Tap-to-Tap Time and Electricity Intensity
Table 1.6	Heat Balance of a Reheating Furnace
Table 1.7	Heat Balance Example of Forge Heating Furnace
Table 1.8	Comparison between a High-frequency Induction Furnace and a Low-frequency Induction Furnace
Table 1.9	Electricity Consumption of Induction Furnace (Example)
Table 2.1	Standard Air Ratio
Table 2.2	Dimensionless Terms Related to Heat Transfer
Table 2.3	Fouling Factor ($m^2h\cdot c/kcal$)
Table 2.4	Overall Coefficient of Heat Transfer of Multi-tube Heat Exchangers
Table 2.5	Approximate Values of Overall Heat Transfer Coefficients for Various Heat Exchangers
Table 2.6	List of Dryers
Table 2.7	Comparison of Spraying Methods
Table 2.8	Application Examples of Spray Dryers
Table 2.9	Refrigerant Properties (for High Temperature)
Table 2.10	Refrigerant Properties (for Low Temperature)
Table 2.11	Energy Conservation Method of Refrigerator and Heat Pump Equipment
Table 2.12	Physical Properties of Thermal Fluids
Table 2.13	Thermal Fluids Heaters
Table 2.14	Energy Intensity for Each Process
Table 2.15	Material Balance of Sulforane Method
Table 2.16	Material Balance of MHC Process
Table 2.17	Energy Consumption in Sulforane and MHC Method
Table 2.18	Material Balance of Alkar Process
Table 2.19	Energy Consumption in Alkar Process
Table 2.20	Classification by Dye Affinity
Table 3.1	Example of Internal/External Fabrication (Make or Buy) of Trucks and Tractors by Process

Table 3.2	Comparison of Energy Resources and Consumption by Type of Melting Furnace
Table 3.3	Effect after Improvement by Concentrated Production for Each Unit Item
Table 3.4	Relationship between Rate of Downtime due to Troubles and the Difference in Monthly Power Consumption
Table 3.5	Relationship between Defective Product Rate and the Difference in Monthly Power Consumption
Table 4.1.1	Compositions of Various Glass Products
Table 4.1.2	Heat Required for Production of Various Kinds of Glass (Theoretical Value)
Table 4.1.3	Comparison of Heat Loss by Insulation
Table 4.1.4	Heat Output Ratio of Electric Melting Furnace
Table 4.1.5	Various Types of Electric Furnace
Table 4.1.6	Result of Energy Conservation in Forehearth
Table 4.1.7	Annealing Point and Strain Point of Various Glasses
Table 4.1.8	Standard Annealing Time of Various Products
Table 4.1.9	Comparison of Heat Balance Data between Old Design and New Design
Table 4.2.1	Specification of Insulation
Table 4.2.2	Specification of Principal Machines
Table 5.1.1	Vapor Pressure of Fatty Acid
Table 5.1.2	Relationship between Barometric Condenser Cooling Water Temperature and Ejector Steam Amount
Table 5.1.3	Difference in Booster Setting Values
Table 5.1.4	Forced Cooling of Barometric Condenser Cooling Water
Table 5.2.1	Energy Intensity of a Meat Factory
Table 5.3.1	Components of Milk Scales (Unit: % in dry milk)
Table 5.3.2	Energy Intensity in Milk Factory
Table 5.3.3	Problems and Measures related to the Chiller and Cooling system
Table 5.3.4	Average Temperature of City Water by Month
Table 5.3.5	Plan of Water Temperature, Condensation Temperature and Recovered Heat
Table 6.1	Performance Factors of Light Source
Table 6.2	Comparative Examples of the Characteristics of Various Light Sources
Table 6.3	Selection of Lamps from Standpoints of Typical Applications
Table 6.4	Illumination Standard for Factory
Table 6.5	Comparison of Loss by Wiring System
Table 6.6	Example of Stabilizer Characteristic (for 400 W Mercury Lamp)
Table 6.7	Example of Utilization Factors

Table 7.1	Discharge Air Volume and Specific Power of Screw-type Air Compressors
Table 7.2	Classification of Air Compressors
Table 7.3	Theoretical Power of Air Compressor (kW)
Table 7.4	Results of Air Leakage Survey
Table 8.1	Basic and Practical Expressions Relating to Motor Application
Table 8.2	Conditions for Motor Selection
Table 8.3	Class of Load and Torque Speed Characteristic
Table 8.4	Example of Thermal Time Constant
Table 8.5	Frame Number Application Table
Table 8.6	Example of Cooling Coefficient Values
Table 8.7	Effect of Voltage Fluctuation on Induction Machine
Table 8.8	Troubles and Measures Accompanied with Introduction of Inverter
Table 8.9	Comparative Example for Calculating Energy Conservation Effects
Table 9.1	Efficiency of 3 Phase High Voltage Medium Capacity Transformer
Table 9.2	Comparisons between a Low Loss Type Transformer and a General-purpose Transformer in Various Specifications (Three-phase, 60 Hz, 500 kVA)
Table 9.3	Comparison of Losses due to Iron Core Material
Table 9.4	Effect of Voltage Fluctuation on Induction Motor
Table 9.5	Relation between Voltage Fluctuation and Loading State of Induction Motor
Table 10.1	Types of Factory Heating System
Table 10.2	Types of Heating System
Table 10.3	Air-conditioning Equipment
Table 10.4	Overview of Heating Equipment
Table 10.5	Specifications of Ceiling Fan
Table 10.6	Reduction Amount of Running Cost (for the year 1990)
Table 11.1	Classification of Boiler
Table 11.2	Daily Inspection of Boiler
Table 11.3	Quality of Feed Water and Boiler Water for Cylindrical Boiler
Table 11.4	Quality of Feed Water and Boiler Water for Water Tube Boiler
Table 11.5	Quality of Feed Water and Boiler Water for Low Circulation Ratio Water Tube Boiler
Table 11.6	Quality of Feed Water for Once-through Boiler
Table 11.7	Standard for Water Quality Measuring Frequency (Cylindrical Boiler)
Table 11.8	Outline of Equipment
Table 11.9	Results of Measurement

- Table 11.10 Heat Balance Table
- Table 11.11 Specific Gravity, Sulfur Content and Mean Calorific Value of Petroleum Fuel
- Table 11.12 Thermodynamic Properties of Saturated Water and Saturated Steam (Temperature reference)
- Table 11.13 Thermodynamic Properties of Saturated Water and Saturated Steam (Pressure reference)
- Table 11.14 Radiant Heat Loss
- Table 11.15 Characteristics and Application of Oil Burner
- Table 11.16 Standard Air Ratio of Boiler
- Table 11.17 Thermal Conductivity of Scale and Other Substance
- Table 11.18 Standard Exhaust Gas Temperature of Boiler (unit: °C)
- Table 11.19 Daily Report of Boiler Operation
- Table 12.1 Assumed Values for Calculation of Combustion
- Table 12.2 Standard Values and Target Values of Air Ratio Specified by the Law
- Table 12.3 Standard and Target Values of Waste Heat Recovery Rate for Furnaces
- Table 12.4 Trial Calculation for Reinforcing the Heat Insulation of the Furnace Wall by Ceramic Fiber
- Table 12.5 Heat Content in Steel Products (Source: JIS 1995 edition)
- Table 12.6 Iron Oxidization Reaction Heat and Sensible Heat of Scales (Source: JIS 1995 edition)
- Table 12.7 Emissivity by Shapes of Furnace Openings
- Table 12.8 Equipment Overview List
- Table 12.9 Long-term Operation Result List
- Table 12.10 Measurement Result List
- Table 12.11 Heat Balance List
- Table 12.12 Examples of Energy Conservation (heating furnace)

List of Figures

- Figure 1.1 Flow of Raw Materials and Products in the Integrated Steel Works
- Figure 1.2 Flow and Energy Conservation Measures of the Sintering Process
- Figure 1.3 Heat Balance in the Sintering Process (an example)
- Figure 1.4 Transition of Energy Intensity at a Sintering Plant in Japan
- Figure 1.5 Flow and Energy Conservation Measures of the Coking Process
- Figure 1.6 Flow of a Coal Moisture Control System
- Figure 1.7 End Flue Temperature Control
- Figure 1.8 Heat Balance of a Coke Oven (an example)
- Figure 1.9 General Arrangement and Process Flow Sheet for CDQ
- Figure 1.10 Flow and Energy Conservation Measures of the Iron Making Process
- Figure 1.11 BF Fuel Rate vs BF Energy Intensity
- Figure 1.12 Heat Balance of a Blast Furnace (an example)
- Figure 1.13 Heat Balance of a Hot Stove (an example)
- Figure 1.14 Flow and Energy Conservation Measures of the Steel Making Process
- Figure 1.15 Flow Diagram of a Converter Gas Recovery System
- Figure 1.16 Cold Steel Sheet Production Process
- Figure 1.17 Flow and Energy Conservation Measures of the Rolling Process
- Figure 1.18 Trend of Fuel Intensity of a Reheating Furnace
- Figure 1.19 Relationship between Energy Intensity and Extraction Temperature
- Figure 1.20 Effect of Hot Charge Rolling (an example)
- Figure 1.21 Effect and Flow of a Fuel Gas Preheater (an example)
- Figure 1.22 Effect of a High Efficiency Power Plant (an example)
- Figure 1.23 Flow Diagram of a Gas Turbine Combined Cycle Plant
- Figure 1.24 Heat Balance of a Mixed and Extraction Steam Turbine
- Figure 1.25 Flow of Raw Materials and Products of Arc Furnace Steel-making Method
- Figure 1.26 Raw Material Flow of Foundry
- Figure 1.27 Flow and Energy Conservation Measures for Arc Furnaces
- Figure 1.28 Example of Combustion Supporting Burner Installation
- Figure 1.29 Effect of Combustion Burner
- Figure 1.30 Effect of Oxygen Injection
- Figure 1.31 Conceptual Drawing of Scrap Preheating Equipment
- Figure 1.32 Relationship between Tap-to-tap Time and Power-Off Time in Arc Furnace Operation

- Figure 1.33 Flow and Energy Conservation Measures for Rolling Process
- Figure 1.34 Relationship between Air/Fuel Ratio and Fuel Intensity
- Figure 1.35 Double Insulation Method for Skid Pipe
- Figure 1.36 Flow and Energy Conservation Measures for Forging Process
- Figure 1.37 Conceptional Flow of Regenerative Burner
- Figure 1.38 Effect of Air Preheater
- Figure 1.39 Conceptional Drawing of Cupola
- Figure 1.40 Hot Blast Cupola Process Flow Diagram
- Figure 1.41 Coke Breeze Injection System Flow Diagram
- Figure 1.42 Heat Balance of Cupola (Example)
- Figure 1.43 Induction Furnace Sectional Drawing
- Figure 1.44 Heat Balance of Induction Furnace
- Figure 2.1 Relation between Low Calorific Value of Solid Fuel and Combustion Gas Amount, and Theoretical Air Amount
- Figure 2.2 Relation between Low Calorific Value of Liquid Fuel and Combustion Gas Amount, and Theoretical Air Amount
- Figure 2.3 Relation between Low Calorific Value of Gas Fuel and Combustion Gas Amount, and Theoretical Air Amount
- Figure 2.4 Relation between Air Ratio and Waste Gas Loss
- Figure 2.5 Relation between Air Ratio and Thermal Efficiency
- Figure 2.6 New Suspension Preheater System Cement Plant
- Figure 2.7 Fuel Economy due to Air Preheating
- Figure 2.8 Lube Oil Manufacturing Process (Gulfinning Process)
- Figure 2.9 Shell/Tube Type Heat Exchanger
- Figure 2.10 Correction Factor FT
- Figure 2.11 Coil Type Heat Exchanger
- Figure 2.12 Trombone Cooler Exchanger
- Figure 2.13 Double Tube Type Heat Exchanger
- Figure 2.14 Multi-Tube Type Heat Exchanger
- Figure 2.15 Plate Type Heat Exchanger
- Figure 2.16 Spiral Type Heat Exchanger
- Figure 2.17 Air Cooling Type Heat Exchanger
- Figure 2.18 Reflux Ratio vs Theoretical Number of Plates
- Figure 2.19 Heat Recovery of Distillate
- Figure 2.20 Steam Generation by Heat of Distillate

Figure 2.21 Use of Distillate Heat to Reboiler
Figure 2.22 Example of Evaporators
Figure 2.23 Classification of Evaporations Systems
Figure 2.24 Pneumatic Dryer (Direct Feed System)
Figure 2.25 Spray Dryer
Figure 2.26 External Fire Type Rotary Dryer
Figure 2.27 Multiple-Stage Disc Hot Air Dryer
Figure 2.28 Agitator Trough Dryer
Figure 2.29 Continuous Fluidized Bed Dryer
Figure 2.30 Band Type Continuous Dryer
Figure 2.32 Vertical Moving Bed Dryer
Figure 2.33 Box Type Dryer
Figure 2.34 Batch System Parallel Flow Box Type Dryer
Figure 2.35 Tunnel Dryer
Figure 2.36 Vertical Nozzle Jet Dryer
Figure 2.37 Steam Tube Rotary Dryer
Figure 2.31 Rotary Type Continuous Dryer
Figure 2.38 An Example of Spray Dryer
Figure 2.40 Spray Dryer
Figure 2.41 Waste Heat Recovery of Exhaust Gas
Figure 2.42 Waste Heat Recovery of Condensate
Figure 2.43 Vapor Compression Type Heat Pump Cycle
Figure 2.44 P-i Diagram
Figure 2.45 P-i Diagram of Ammonia
Figure 2.46 Absorption Type Heat Pump
Figure 2.47 Dühring Chart for Heat Pump (Type 1)
Figure 2.48 Dühring Chart for Heat Pump (Type 2)
Figure 2.49 Specific Heat of Brine
Figure 2.50 Freezing Temperature and Specific Gravity of Brine
Figure 2.51 Heat Transfer Surface Fouling and Condensation Temperature
Figure 2.52 Effect of Scale on Refrigeration Capacity
Figure 2.53 Effect of Scale on Evaporation Temperature
Figure 2.54 Various Furnace Types of Pipe-Still
Figure 2.55 Energy Conservation Measures for Pipe Still
Figure 2.56 Flow Sheet for Tar Distillation Equipment

- Figure 2.57 Flow Sheet for a Continuous Distillation Equipment (New KOPPERS process)
- Figure 2.58 BTX Process Flow Sheet (Shell sulforane process)
- Figure 2.59 Benzene Process Flow Sheet (MHC method)
- Figure 2.60 Ethylbenzene Process Flow Sheet (DOW process)
- Figure 2.61 Ethylbenzene Process Flow Sheet (Alkar process)
- Figure 2.62 Manufacturing Process
- Figure 3.1 General Production Process for Trucks and Tractors
- Figure 3.2 Energy Intensity by Process
- Figure 3.3 General Casting Process and Major Energy Consumption by Process
- Figure 3.4 Energy Intensity of the Casting Process
- Figure 3.5 Example of Machining
- Figure 3.6 Electricity Consumption during 1 Cycle of Machining (For cutting machine)
- Figure 3.7 Comparison between Energy Consumption during Machining and That during Non-machining
- Figure 3.8 Energy Intensity Index including that during Non-machining
- Figure 3.9 Relationship between Rate of Downtime due to Troubles and Difference in Monthly Power Consumption
- Figure 3.10 Relationship between Defective Product Rate and the Difference in Monthly Power Consumption
- Figure 3.11 Energy Consumption Effect of Air Leakage Measures
- Figure 3.12 Air Consumption during Air Blowing
- Figure 3.13 Shape of an Air Blow Nozzle
- Figure 3.14 Comparison of Compressed Air Consumption between a Conventional Copper Nozzle and an Energy-saving Nozzle
- Figure 3.15 Comparison of Power Consumption for Chip Conveyor
- Figure 3.16 Example of Machining Parts and Machining Process (Flywheel)
- Figure 3.17 Energy Conservation through Reduction of Processes by Material Improvement
- Figure 3.18 Reduction of Processes by Improvement of Tools
- Figure 3.19 Combined Machine Tool
- Figure 3.20 Energy Required for Generating Compressed Air of $Q = 1 \text{ m}^3/\text{min}$
- Figure 3.21 Overview of the Assembly Process
- Figure 3.22 Overview of the Painting Process
- Figure 3.23 Percentages of Energy Consumption by Equipment (Example of Company A in the cold region)
- Figure 3.24 Electricity Consumption for Air Blow Motor for Drying

- Figure 3.25 Example of Rearrangement for Reduction of Assembly Process Interval
- Figure 3.26 Example of Improvement Effect of Rearrangement for Reduction of Assembly Process Interval
- Figure 3.27 Energy Conservation by Improvement of Start-up and Halt Time
- Figure 3.28 Fluctuation in Air Consumption in a Factory
- Figure 3.29 Compressor Combination Patterns and Electricity Consumption
- Figure 3.30 Energy Intensity by Process in Middle-size Tractor Manufacturing in Japan (GJ/unit)
- Figure 4.1.1 Glass Manufacturing Process
- Figure 4.1.2 Share of Total Energy Consumption (10.258 kJ/kWh)
- Figure 4.1.3 Relationship between Heat Intensity and Scale of Melting Furnace
- Figure 4.1.4 Addition Rate of Cullet vs Fuel Saving Rate
- Figure 4.1.5 Outline Sketch of Middle-Size Tank Furnace (End-Port Type)
- Figure 4.1.6 Outline Sketch of Tank Furnace (Side-Port Type)
- Figure 4.1.7 Relationship of Flame Emissivity and C/H Ratio in Fuel
- Figure 4.1.8 Baffle Block in the Port
- Figure 4.1.9 Furnace Parts before and after Heat Insulation
- Figure 4.1.10 Comparison between Old and New Designs for Furnace Insulation
- Figure 4.1.11 Various Types of Recuperator
- Figure 4.1.12 Types of Checker Work and Unit Surface Area for Heat Conduction
- Figure 4.1.13 Heat Conductivity of Checker Refractory
- Figure 4.1.14 Old Type Regenerator and New Separate Regenerator
- Figure 4.1.15 Flow Sheet of Exhaust Gas and Waste Heat Boiler
- Figure 4.1.16 Heat Loss from Oil-/Gas-fired and Electrically heated Furnaces
- Figure 4.1.17 Comparison of Volatile Losses from Oil/Gas and Electrically heated Furnaces
- Figure 4.1.18 Comparison of Energy Requirements for Oil/Gas-fired and Electrically-heated Furnaces
- Figure 4.1.19 Various Types of Electric Furnace
- Figure 4.1.20 Fuel Saving Rate by Oxygen Combustion
- Figure 4.1.21 Sketch of Alglass Burner
- Figure 4.1.22 Flow Sheet of PSA System
- Figure 4.1.23 Various Types of Combustion System
- Figure 4.1.24 Float Process
- Figure 4.1.25 Rollout Process
- Figure 4.1.26 IS Machine Process

Figure 4.1.27 Various Types of Forming Processes

Figure 4.1.28 Sharing Electricity Consumption

Figure 4.1.29 Trend of Energy Intensity Index in Sheet Glass Manufacturing

Figure 4.1.30 Trend of Energy Intensity Index in Bottle Glass Manufacturing

Figure 4.1.31 Relationship of Heat Intensity and Scale of Melting Furnace Old v.s. New

Figure 4.1.32 Heat Balance Chart for Float Glass Melting Tank

Figure 4.1.33 Heat Balance Chart for Bottle Glass Melting Tank

Figure 4.2.1 Systematic Classification of Building Materials

Figure 4.2.2 Production Process of Silicate Lime Block

Figure 4.2.3 Production Process of Cement Roof Tile

Figure 4.2.4 Production Process of ALC Products

Figure 4.2.5 Compressive Strength vs. Density of Porous Concrete

Figure 4.2.6 Thermal Conductivity vs. Density of Lightweight Concrete

Figure 4.2.7 Outline of Autoclave

Figure 4.2.8 General Items of Energy Conservation of Autoclave

Figure 4.2.9 Basic Data of Autoclave Operation (Example)

Figure 4.2.10 Section of Insulation

Figure 4.2.11 Flow Chart of Heat Recovery (Example)

Figure 4.2.12 Steam Valve Station of Autoclave

Figure 4.2.13 Outline of Production Process

Figure 4.2.14 Discharge Steam and Charge Steam in Hardening Process of Autoclave

Figure 4.2.15 Heat Recovery of Exhaust Steam

Figure 4.2.16 Measuring Data of Charged Steam Consumption

Figure 4.2.17 Comparison between before and after Improvement of Hardening Process in Autoclave

Figure 4.2.18 Prediction of Power and Steam Demand

Figure 4.2.19 Gas Cogeneration System for Building Material Production

Figure 4.2.20 Energy Efficiency of This System

Figure 5.1.1 Process Flow for Oil Refining

Figure 5.1.2 Continuous Neutralization Process

Figure 5.1.3 Continuous Vacuum Decolorization Process

Figure 5.1.4 Vapor Pressure Curve of Organic Compounds (Esters)

Figure 5.1.5 Vapor Pressure Curve of Organic Compounds (Hydrocarbon, chlorinated hydrocarbon and organic silicon compounds)

Figure 5.1.6 Continuous Deodorization Process

Figure 5.1.7 Heat Recovery by Coil in the Tray

Figure 5.1.8 Heat Recovery by External Heat Exchangers (1)

Figure 5.1.9 Heat Recovery by External Heat Exchangers (2)

Figure 5.1.10 Heat Recovery by Desmet Method (Continuous Type)

Figure 5.1.11 Heat Recovery by Heat Exchanging Tank

Figure 5.1.12 Heat Recovery by Hot Water Circulation

Figure 5.1.13 Heat Recovery Equipment

Figure 5.1.14 Operating Condition for Vacuum Device

Figure 5.1.15 Forced Cooling of Barometric Condenser Cooling Water

Figure 5.1.16 Agitating Type Hydrogenation Tank

Figure 5.1.17 Oil-circulating Type Hydrogenation System

Figure 5.2.1 Process Flow

Figure 5.2.2 Meat Processing Flow

Figure 5.2.3 Outline of an Outside Air Treatment System

Figure 5.2.4 Outline of Automatic Smoking Unit for Ham and Sausage

Figure 5.3.1 Milk Processing Flow

Figure 5.3.2 Cross-section of a Wesfaria-type Clarifier

Figure 5.3.3 Theory of Homogenizing Mechanism

Figure 5.3.4 Flow Sheet of UHT Milk

Figure 5.3.5 Temperature Change in the Pasteurization Time of UHT Milk

Figure 5.3.6 Tetra Brick Type Aseptic Packing

Figure 5.3.7 Flow Sheet of C.I.P. Unit

Figure 5.3.8 C.I.P. Spray Ball and Tank

Figure 5.3.9 Electricity Use by Process before and after Improvement

Figure 5.3.10 Process Flow and Chilled Water Supply

Figure 5.3.11 Flow Sheet of the Chiller and Cooling System after Improvement

Figure 5.3.12 Conceptual Diagram of Flow for Gas Engine-operated Refrigeration System

Figure 5.3.13 Flow Sheet of Heat Recovery System

Figure 5.3.14 Trend of Fuel Intensity before and after Heat Recovery

Figure 6.1 Life Characteristics of Various Light Sources

Figure 6.2 Lumen Maintenance Characteristic of Various Light Sources

Figure 6.3 Lowered Lumen When Dirt Accumulated on Lamp and Lighting Equipment

Figure 7.1 Configuration Example of Pneumatic System

Figure 7.2 Air Pressure System Flow

Figure 7.3 Flow Route

- Figure 7.4 Orifice
- Figure 7.5 Rate of the Flow Passing through the Orifice
- Figure 7.6 Market Shares of Air Compressors by Type
- Figure 7.7 Load Characteristics of Air Compressors
- Figure 7.8 Comparison between Butterfly Valve Throttle System and IGV System
- Figure 7.9 Load Characteristic by Controlling the Number of Operating Machines
- Figure 7.10 Compressed Air Pressure and Blow-Off Air Amount from Nozzle
- Figure 7.11 Shape of Orifice and Value of Discharge Coefficient
- Figure 7.12 Pressure - Time Curve
- Figure 8.1 Conversion of Flywheel Effect
- Figure 8.2 Temperature Rise Curve of Motor
- Figure 8.3 Example of Periodic Load
- Figure 8.4 Example of Load Curve (1)
- Figure 8.5 Example of Load Curve (2)
- Figure 8.6 Comparative Example of Efficiency for Induction Motor and DC Motor
- Figure 8.7 Comparative Example of Efficiency and Power Factor between Synchronous and Induction Motors
- Figure 8.8 Relation between Number of Pole, Efficiency and Power Factor of Induction Motors
- Figure 8.9 Optimum Output Range of Motor
- Figure 8.10 Efficiency Comparison of 3 Phase Squirrel Cage Type Induction Motor (Output Capacity)
- Figure 8.11 Efficiency Comparison of 3 Phase Squirrel Cage Type Induction Motor (Load Factor)
- Figure 8.12 Energy Conservation Effect for High-efficiency Motors
- Figure 8.13 Classification of Rotating Speed Control
- Figure 8.14 Loss Analysis Example of Standard 3 Phase Induction Motor
- Figure 8.15 Tendency of Loss against Applied Voltage
- Figure 8.16 Example of Efficiency during Voltage Fluctuation of Induction Motor
- Figure 8.17 Example of Power Factor during Voltage Fluctuation of Induction Motor
- Figure 8.18 Simple Equivalent Circuit of Induction Motor at Slip = 0
- Figure 8.19 Torque-Speed Characteristics of V/f Constant Control
- Figure 9.1 Transformer Efficiency (Example)
- Figure 9.2 Relation between Power Factor and Efficiency (Example)
- Figure 9.3 Example of Efficiency of 50 Hz Single Oil Immersed Transformer

Figure 9.4 Example of Efficiency of 50 Hz 3 Phase Oil Immersed Transformer

Figure 9.5 Load Factor and Loss/Efficiency of Amorphous Iron Core Transformer

Figure 9.6 Load Factor and Loss/Efficiency of a Silicon Steel Plate Transformer

Figure 9.7 Method to Use Two 500 kVA Transformer

Figure 10.1 Unit Heater

Figure 10.2 Air Furnace

Figure 10.3 Panel Heater

Figure 10.4 Gas Infrared Heater

Figure 10.5 Air Infrared Heater

Figure 10.6 Configuration of Air Jet System

Figure 10.7 Air Jet Nozzle

Figure 10.8 Power Consumption for the Principal Rotary Press

Figure 10.9 Cooling Water Loads during Newspaper Printing

Figure 10.10 Temperature Distribution in the Heat Storage Tank (Hot water heat storage)

Figure 10.11 Changes in Heating Load

Figure 10.12 Configuration Principle Diagram

Figure 10.13 System Diagram of Heating System

Figure 10.14 Example of Strip Heater Installation

Figure 10.15 Operative Temperature Distribution by Radiation Heating (Globe temperature)

Figure 10.16 Changes in the Temperature in the Height Direction by Radiation Panel

Figure 10.17 Clayton Boiler

Figure 10.18 Fin-Tube Radiation Panel

Figure 10.19 Vacuum Combustion System CO-Ray-VAC (Gas-fired)

Figure 10.20 Side-wall Type OVSW-301 (Single unit) (Kerosene-fired)

Figure 10.21 Number of Applicants for Improvement Case Presentation Convention

Figure 10.22 Layout of Heating Equipment

Figure 10.23 Temperature Differences between Ceiling and Floor

Figure 10.24 General Plan View

Figure 10.25 Distribution of Temperature Difference from the Setting Temperature

Figure 10.26 Final Temperature Distribution in the Factory

Figure 10.27 Air-conditioning System

Figure 10.28 Dimensional Diagram of High-velocity Nozzle

Figure 10.29 High-Velocity Nozzles Installed at the Upper Locations

Figure 10.30 Layout of Heating Equipment

Figure 10.31 Comparison of Energy Balances

Figure 10.32 Improved System

Figure 10.33 Energy Balance after Improvement

Figure 10.34 Overview of the Equipment to be Improved

Figure 10.35 Temperature Setter

Figure 10.36 Room Temperature Surveyed after Improvement

Figure 10.37 Overview of the Equipment to be Improved

Figure 10.38 Overview of Equipment to be Improved

Figure 10.39 Features of Riviera Heating System

Figure 10.40 Effects after Improvement (Temperature distribution)

Figure 11.1 Vertical Boiler (Multitubular type)

Figure 11.2 Externally Fired Horizontal Smoke Tube Boiler

Figure 11.3 Flue Smoke Tube Boiler

Figure 11.4 Water Tube Boiler

Figure 11.5 Forced Circulation Boiler

Figure 11.6 Schematic Flow Diagram of Benson Boiler (Once-through Boiler)

Figure 11.7 Standard Range of Boiler Heat Balance

Figure 11.8 Relation between Calorific Value (Low) and Specific Gravity of Petroleum Fuel

Figure 11.9 Absolute Humidity of Air

Figure 11.10 Heat Loss Chart (From ABMA chart in power test code of ASME)

Figure 11.11 Correction Multiple of Temperature Difference and Air Velocity to Figure 11.10

Figure 11.12 An Example of Cogeneration System

Figure 11.13 Effect of Steam Accumulator

Figure 11.14 Operation Number Control

Figure 11.15 Boiler Efficiency Improvement by Operation Number Control

Figure 11.16 Energy Conservation Items of Boiler

Figure 11.17 Example of 20 T/H Boiler Heat Balance

Figure 11.18 Viscosity of Fuel Oil

Figure 11.19 Boiler Air Ratio Controller (1)

Figure 11.20 Boiler Air Ratio Controller (2)

Figure 11.21 Basic Combustion Control System

Figure 11.22 Block Diagram of Single Cross Limit Combustion Control System

Figure 11.23 Example of Fuel Loss due to Soot on Heating Surface

Figure 11.24 Example of Relation between Scale Thickness and Fuel Loss

Figure 11.25 Relation between Sulfur Content in Fuel and SO₂ Content in Fuel Gas

Figure 11.26 Relation between Sulfur Content in Fuel and Conversion Ratio from SO₂ to SO₃

Figure 11.27 Relation between SO₃ Concentration in Exhaust Gas and Dew Point Temperature

Figure 11.28 Fuel Saving Rate due to Air Preheating

Figure 11.29 Turbulator Insertion Effect

Figure 12.1 Key Points in Energy Conservation for a Heating Furnace

Figure 12.2 Air Ratio by Exhaust Gas Oxygen

Figure 12.3 Air, Exhaust Gas and CO₂ by Air Ratio

Figure 12.4 Air, Exhaust Gas and CO₂ by Exhaust Gas Oxygen Content

Figure 12.5 Air Ratio by Exhaust Gas Oxygen Content with Fuel Composition

Figure 12.6 Fuel Saving by Adjusting the Air Ratio (Exhaust gas temperature = 400 °C)

Figure 12.7 Fuel Saving by Adjusting the Air Ratio (Exhaust gas temperature = 600 °C)

Figure 12.8 Example of Air Ratio and CO Generation

Figure 12.9 Air Ratio Distribution (Metal heating furnace of 315 units)

Figure 12.10 Air Ratio Distribution (Metal heat-treatment furnace of 264 units)

Figure 12.11 Air Ratio Distribution (Ceramic industry furnaces of 431 units)

Figure 12.12 Air Ratio Distribution (Chemical industry furnaces of 530 units)

Figure 12.13 Relationship between Air Ratio and Scale Loss (Fuel oil-fired, heating time: 120 minutes)

Figure 12.14 Example of Pressing the Door to the Furnace Body by Air Cylinder

Figure 12.15 Fuel Saving by Air Preheating (Exhaust gas temperature before preheating: 400 °C)

Figure 12.16 Fuel Saving by Air Preheating (Exhaust gas temperature before preheating: 800 °C)

Figure 12.17 Heat Emission from Furnace Wall

Figure 12.18 Trial Calculation for Reinforcing the Heat Insulation of the Furnace Wall by Ceramic Fiber

Figure 12.19 Heat Insulation of a Water-cooled Beam

Figure 12.20 Heat Balance Diagram of WB Type Heating Furnace

Figure 12.21 Number of Cases Presented for Reheating Furnaces (1984 to 1998)

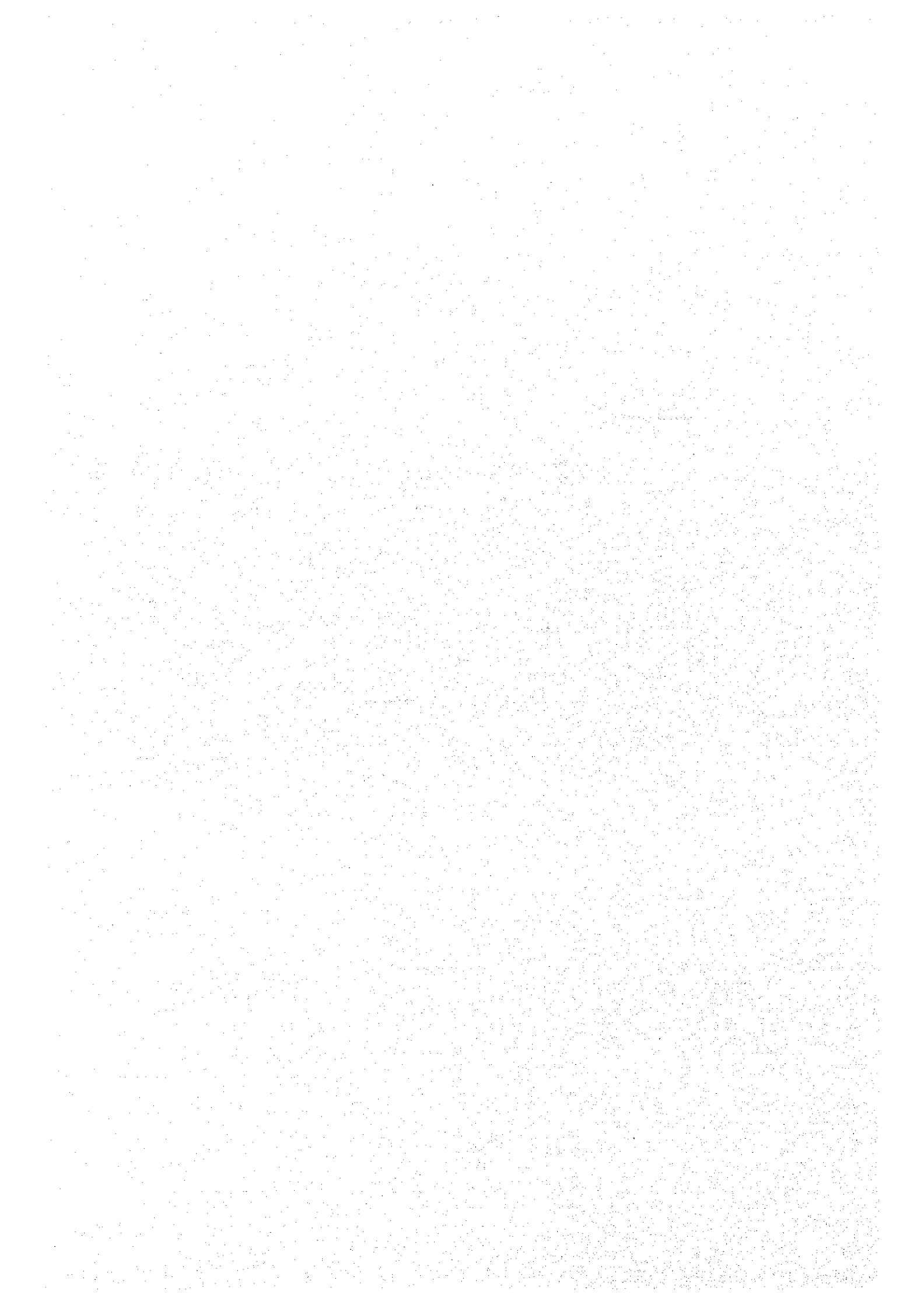
Figure 12.22 Motivations for Energy Conservation

Figure 12.23 Patterns of Energy Conservation

Figure 12.24 Entries to the Case Presentation Convention

IV ガイドライン

1. 鉄鋼業の省エネルギー



1. 鉄鋼業の省エネルギー

1.1 まえがき

鉄鋼製品を作る工場は、大きく分けて次の 5 種類がある。

- (1) 高炉や COREX 法で鉄鉱石から銑鉄を作り、それを転炉で鋼に製錬し、鋼板・条鋼などの鋼材を作る銑鋼一貫製鉄所。
- (2) 直接還元製鉄法で DRI (Direct-reduced iron) をつくり、電気炉で鋼に製錬し鋼材を作る直接還元製鉄所。
- (3) 高炉や直接還元炉を持たず、銑鉄 (型銑)、鉄スクラップ等を電気炉で溶かして鋼を作り、鋼材を生産する電炉工場。
- (4) 銑鉄や鉄スクラップ等をキューボラ・誘導炉 (高周波、低周波)・電気炉等で溶解して銑鉄または銑鋼を作り、銑型に鑄造し鑄物を生産する鑄物工場。
- (5) 電気炉等をもたず、上記(1)、(2)、(3)、の工場からその中間製品であるスラブ、ブルーム、ピレット等の鋼材を購入し、鋼板・条鋼・鋼管等を作る単圧工場。

一貫製鉄所は鉄鉱石を還元し銑鉄をつくる高炉をはじめ、焼結工場・コークス工場等多数のプロセスから構成されており、全体としてエネルギー利用効率は高いが、設備等の資本負担が大きいので、大消費地の近くか、原料となる鉄鉱石および石炭の輸送コストが安い場所に建設されることが多く、年間生産能力 数百万 t 規模の工場が一般的である。直接還元製鉄所は、製造コストの点から天然ガスの安価な地域に建設されている。

これに対し、電炉工場の特徴は、高級品種の生産には難があるものの設備などの資本負担が比較的小さいこと、製品製造および操業の切り換えが比較的容易で、多品種少量生産に適していることから、その製品の消費地の近くに需要に相当する生産能力をもった工場が建設されるケースが多い。

鑄物工場は複雑な形状をした機械部品を生産するのに適していることから、機械工

場の付属設備として設置されたり、バルブ・パイプ継手の様な汎用部品の専門工場として建設されている。

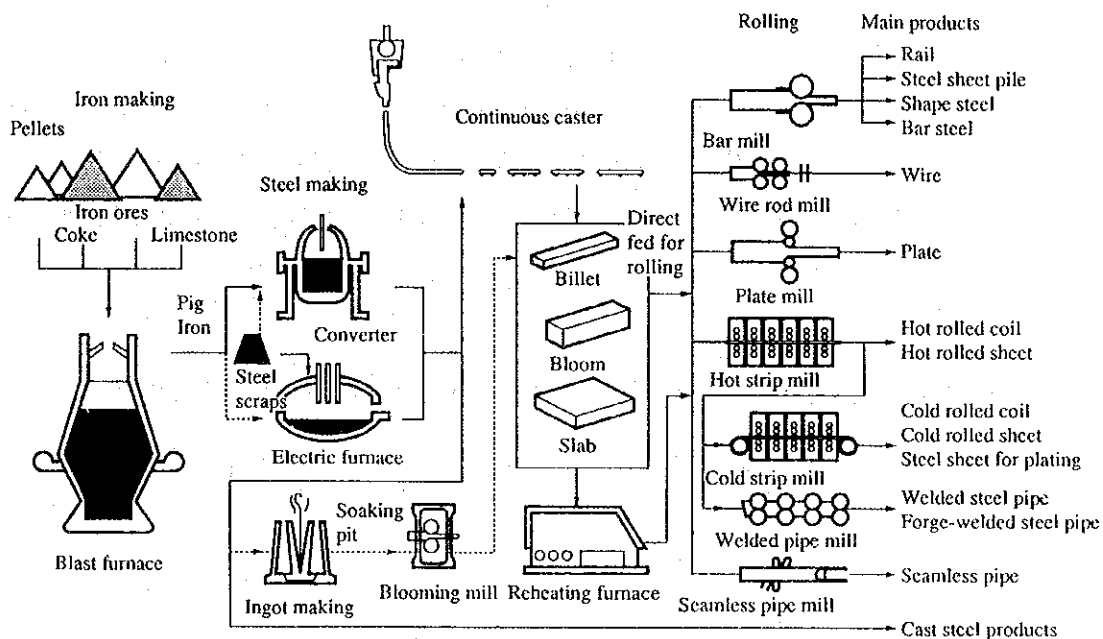
ポーランドには銑鋼一貫製鉄所、電炉工場および鋳物工場の3種類の工場がある。本章では銑鋼一貫製鉄所のエネルギー多消費設備を主体に記述し、他の工場についてはその工場の特徴的設備であり、かつエネルギー使用量の多い設備を抽出し説明を加える。

1.2 銑鋼一貫製鉄所のプロセスの概要と省エネルギーテーマ

Figure 1.1 に銑鋼一貫製鉄所における原料および製品の流れを示す。

銑鋼一貫製鉄所においては、各プロセス毎の省エネルギーを進めることはもちろん、製鉄所全体のエネルギーコストが最小になるよう製鉄所全体の生産計画および投資計画が作成される。更にこれら計画に沿い生産管理、設備管理およびエネルギー管理が実施されまた必要に応じてこれらの見直しが行われ常に最大限の効果を追求する体制がとられている。

Figure 1.1 Flow of Raw Materials and Products in the Integrated Steel Works



*Fed to surface treatment equipment, to be made into the products such as electrolytic tin plated steel, electrogalvanized steel, zinc hot dipped steel, etc.

1.2.1 焼結設備

1.2.1.1 焼結設備

細粒鉱石の塊成化の方法には種々の方法がある。ここでは最も一般的、かつ広く普及している焼結設備をとりあげ説明する。

(1) 焼結製造工程

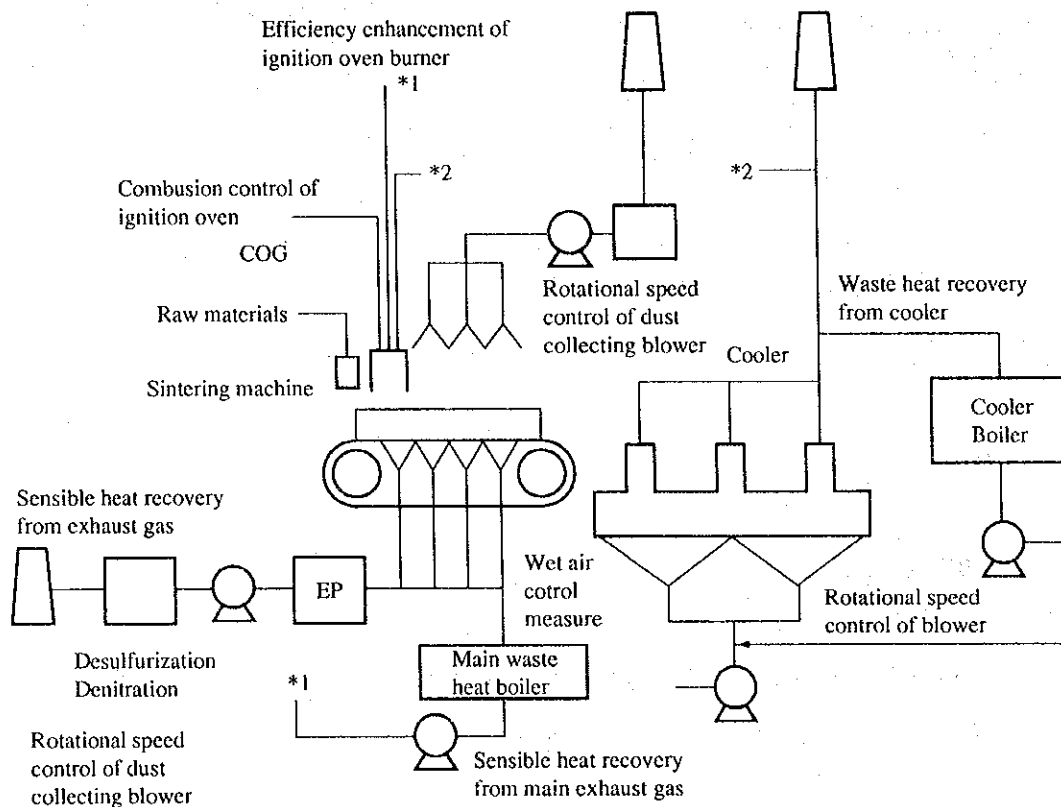
高炉、COREX のような堅型充填層炉の場合、炉内通気性の確保のために塊状原料を使用する必要があり焼結鉱・ペレット・塊鉱石および塊コークス等が使用される。近年塊鉱石としては一般に処理鉱石が使用され（焼結鉱、ペレット） 装入原料の 70%以上を占めるに到っている。

焼結鉱は粉状の鉄鉱石と粉コークスおよび石灰石を混合し焼き固めたもので、焼結工程は原料供給設備、焼結機および焼結クーラから構成されている。焼結機は、原料をパレットと呼ばれる鋳物製コンベアに乗せ、粉コークスに着火後、誘引通風機により空気を供給することにより、混合原料内のコークスを燃焼させ低融点スラグを生成させることで粉原料を焼成塊成化する設備である。焼結機により生産された焼結鉱は、焼結クーラにて空冷されたあと破碎・整粒され塊鉱のみが高炉または COREX 原料として輸送され使用される。コンベア輸送中に発生した細粉鉱は高炉または COREX への装入前に再度ふるいわけられ焼結機に返送され再度焼結鉱として焼成される。

焼結工程でのエネルギーの使用量は一貫製鉄所全体の約 9~10%に相当する。

Figure 1.2 に焼結工程のフロー図および省エネルギー対策を示す。

Figure 1.2 Flow and Energy Conservation Measures of the Sintering Process



(2) 操業改善・設備改善による省エネルギー

a. 粉コークス

粉コークスは焼結機のエネルギー原単位の中で一番大きいウェイトを占める。粉コークス原単位は、60～65kg/tであったが、歩留向上対策、クーラー排熱回収利用等操業改善および高炉工程で廃棄物として発生したコークス含有量の多いダストなどの再利用等を実施した結果現在では40～45kg/tのレベルまで下がっている。

歩留向上対策としては、焼結機内で均一に焼成が行われ十分な強度を持つ焼結鉱が得られる様操業改善を実施することおよび成品の破碎・整粒・輸送時に粉化を防止することの2つが主な対策となっている。

前者については、通気棒の利用、偏析装入、凝似粒子増を狙った予備造粒等の方法が実施されているが、同時に高層厚化操業を行ない焼結層を厚くして歩留を向上させ、生産性向上をはかっている。また、後者に関してはコンベア接続部の減少、落下高さの減少等の対策がとられている。

なお、近年では高炉、COREX 炉内での還元性の向上やスラグ比の低下、いいかえると高炉や COREX プロセスに於る省エネルギーを図るため、焼結鉱中の $\text{SiO}_2\%$ 、 $\text{FeO}\%$ 等を低下させることが行われている。

b. 電力および燃料

上記の歩留向上対策により粉鉱のリターンが減少し、再焼き量が少なくなり生産性が向上しエネルギー原単位の低減につながっている。

このほか焼結機まわりのシールの強化による漏風防止、高効率インペラの採用または焼結ブロワの能力が過大である場合は、インペラカットの実施およびブロワの回転数制御などの対策により、電力原単位は20kWh/t程度まで下がった。しかし集塵機や脱硫設備などの公害防止対策が強化され電力原単位は35～45kWh/tまで上昇している。

一方点火炉燃料に関しては従来より多用されてきたマルチバーナー式雰囲気着火方式に替え近年スリットバーナーやラインバーナーと称される直火方式バーナーが採用される様になり省エネルギーに大きく貢献している。燃料原単位は従来の30Mcal/t レベルから10Mcal/t 以下(良いもの

で 5Mcal/t) に逆下がっている。

(3) 排熱回収による省エネルギー

焼結工程の主な排熱は、焼結機本体から主排ガス顕熱 (約 85Mcal/t) および焼結クーラの排ガス顕熱 (約 180Mcal/t) とがある。前者は焼結機本体排鉱部近傍の排ガス (250~400℃) の顕熱が回収の対象であり、蒸気回収あるいは原料予熱、点火炉用空気の予熱などに利用される。それに対し、後者はクーラ排ガスの高温部 (250~400℃) の顕熱が回収の対象であり、蒸気回収、あるいは熱水で回収しダブルフラッシュさせる発電システムなどにより電力回収される。焼結鉱温度を 700℃ とすると焼結鉱顕熱 (0℃ 基準で) は 180Mcal/t であるが、焼結クーラの高温部のみ排熱回収しているため、10ata 飽和蒸気で熱回収を実施する場合を例にとると、実際に回収できる熱エネルギー原単位は 65Mcal/t-sinter 程度である。

Figure 1.3 に焼結プロセスに於るヒートバランス、Figure 1.4 に粉コークス、電力、燃料原単位の推移を示す。Figure 1.4 は石油危機後、いち早くコークス原単位を低減した、ある焼結工場の例である。

Figure 1.3 Heat Balance in the Sintering Process (Example)

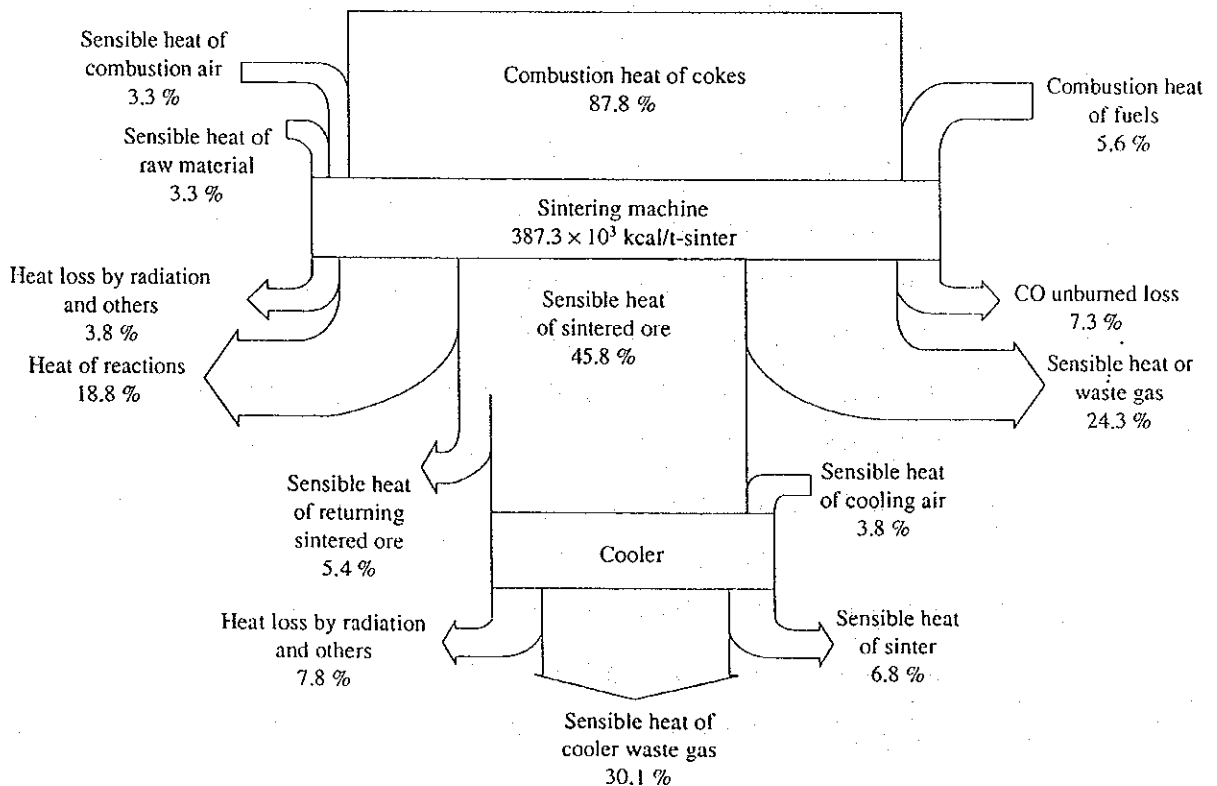
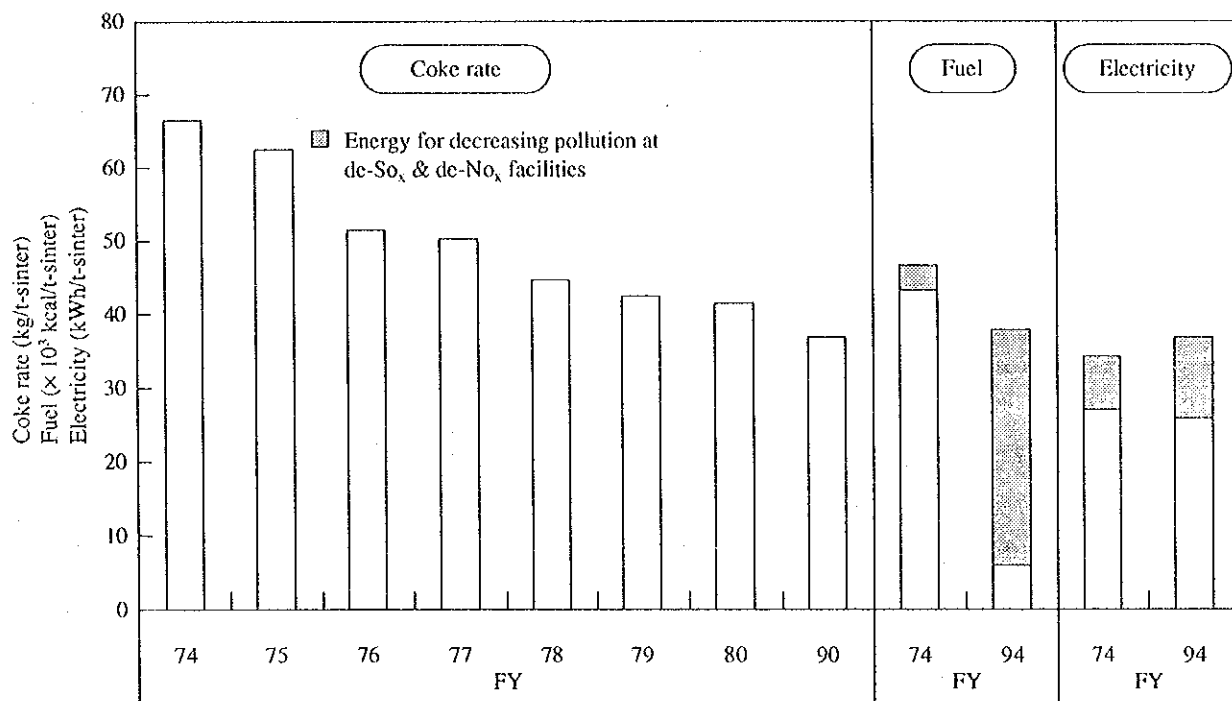


Figure 1.4 Transition of Energy Intensity at a Sintering Plant in Japan



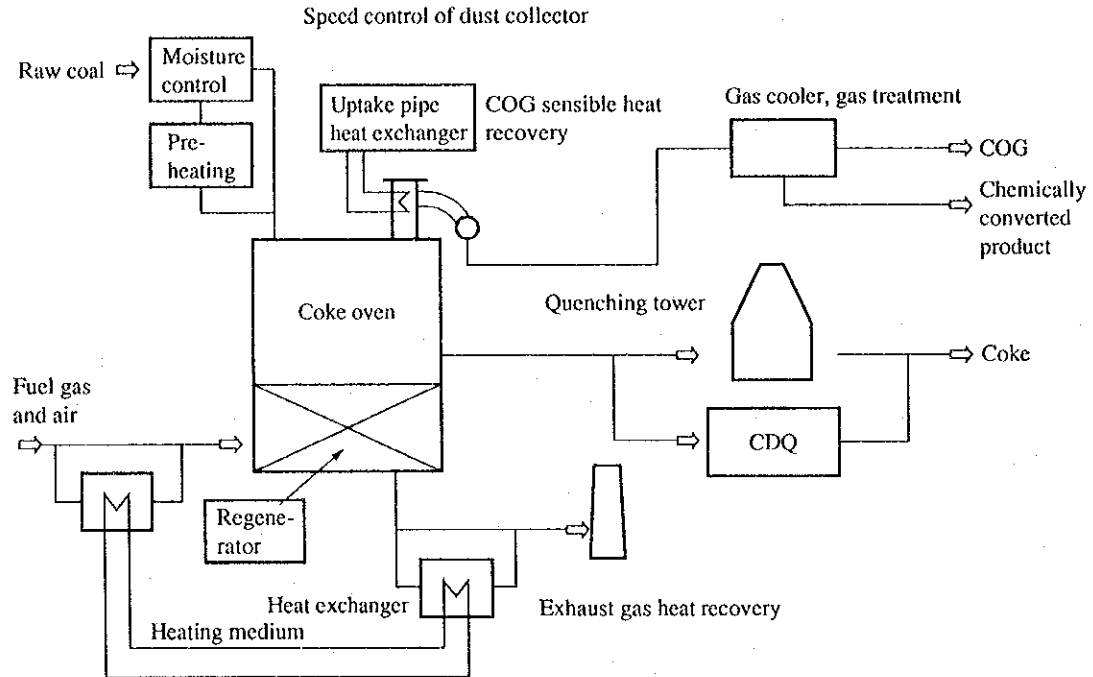
1.2.1.2 コークス炉

(1) コークス製造工程

コークス製造工程は、コークス炉で原料炭を乾留して、鉄鉱石還元用コークスを製造する工程である。コークス炉は、蓄熱室の上に炭化室と燃焼室が交互に並び、炉団を形成している。原料炭は配合、粉碎、混合の工程を経て、炭化室に装入され、通常、15~20hr 経過すると乾留が終了し、押出される。押出された赤熱コークスは消火塔にて散水冷却されるかまたは不活性ガスによる冷却設備で冷却されて製品となる。製品は篩分けされ、塊コークスのみが高炉または COREX に送られ原料として使用される。細粒コークスは焼結鉄用原料として利用されるかまたは外販される。

コークス工程の消費エネルギーは、原料炭の昇温・乾留熱などが主なものであるが、最近では CDQ (coke dry quenching) 設備普及により排熱回収が普及して製鉄全工程の 5~6% になっている。Figure 1.5 にコークス製造工程のフロー図および省エネルギー対策を示す。

Figure 1.5 Flow and Energy Conservation Measures of the Coking Process



(2) 燃料改善・設備改善による省エネルギー

a. 燃料

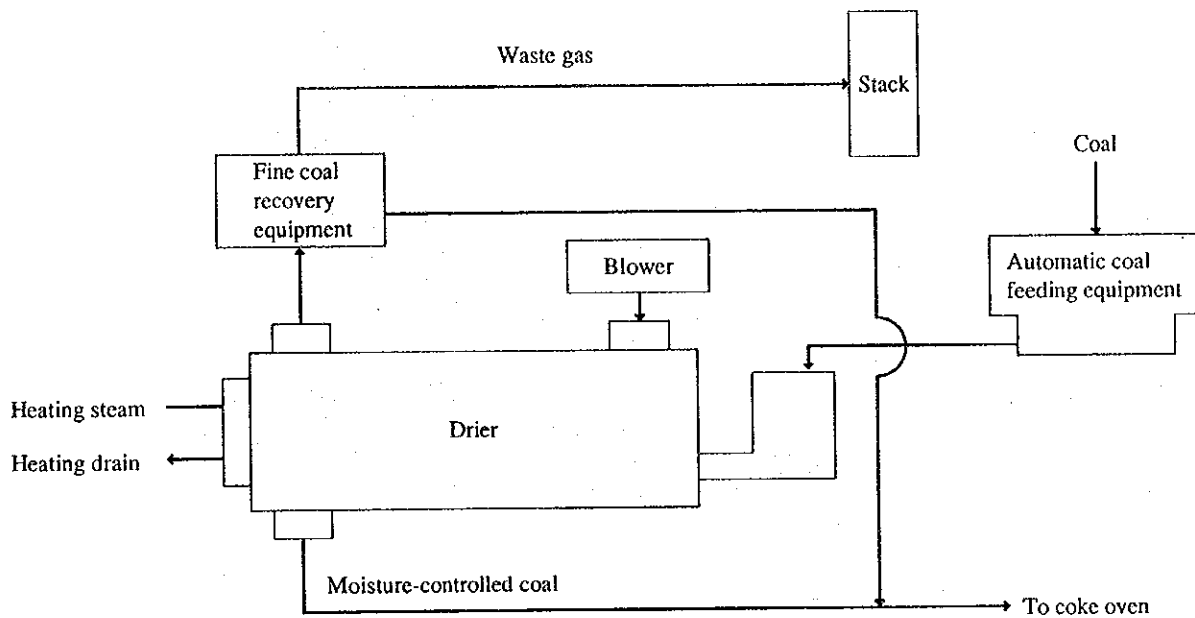
乾留用燃料は、コークス炉のエネルギー原単位の大部分を占める。

燃料原単位は 650Mcal/t-coal 程度だったが、次に示すような改善が加えられ、現在では、550Mcal/t-coal まで下がっている。

- ・ 燃焼管理の強化 (排ガス中酸素濃度の管理)
- ・ コークス炉の稼働計画 (稼働率) をベースに、計算機を使って炉温制御を含めた自動燃焼管理を行うとともに、石炭の乾留が均一にすすむように炉内温度分布を適正に維持し、火落時間および炭化時間のばらつきを小さくする。
- ・ 調湿炭設備は、原料炭を蒸気あるいは製鉄所内排熱など他の熱源により予め加熱乾燥し石炭中の水分を 5~7%程度に減少させてコークス炉に装入するもので炉の操業が安定するのみならず乾留用消費熱量が低減でき同時に湿分減少相当分石炭充填量が増加し生産性を向上できる。調湿炭設備による燃料低減効果は 75Mcal/t 程度で、約 5%増産が可能である。

Figure 1.6 に石炭調湿設備のフロー図を示す。

Figure 1.6 Flow of a Coal Moisture Control System



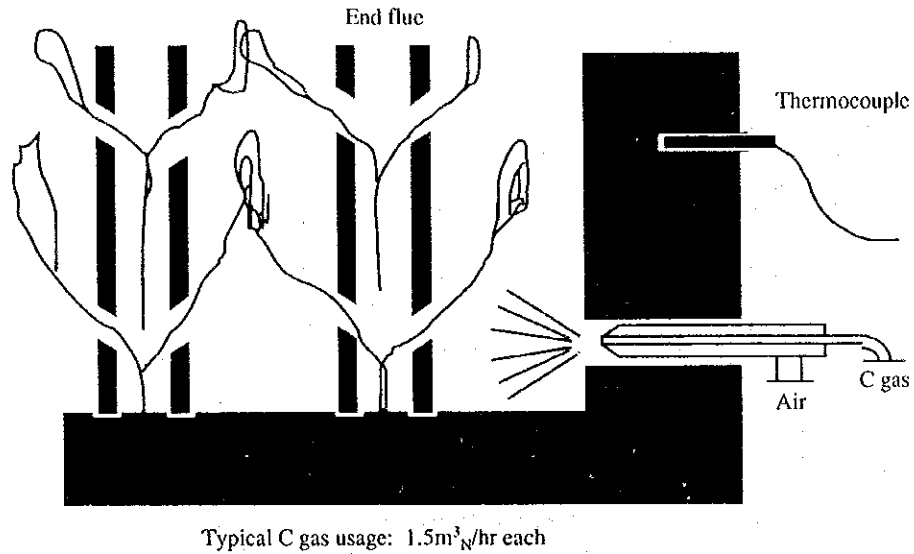
・端フリーバーナー

コークス炉の両端フリー (コークスサイド/マシンサイド) は放散熱量が大きいので温度が低下しやすくこの部分のコークス乾留が不十分になりやすい。この両端フリーの温度を上げコークス乾留を完全に行なおうとすると、コークス炉全体の平均温度を上昇させることになり燃料原単位を上昇させることになる。これらの問題に対処する方法として近年この両端フリーに特殊バーナーを設置し温度低下を防ぐ方法が採用され効果を上げている。

例を Figure 1.7 に示す。

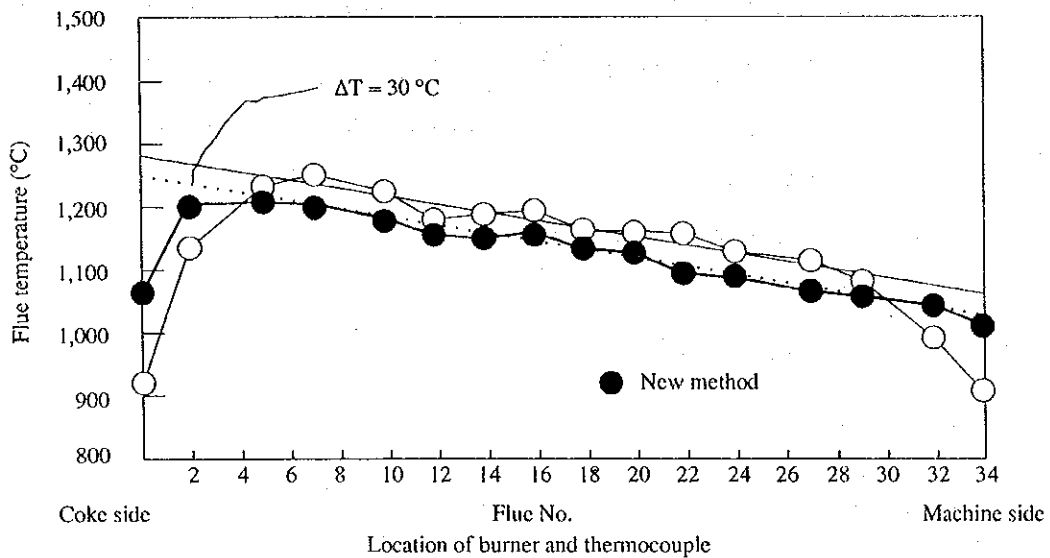
Figure 1.7 End Flue Temperature Control

Countermeasures: C gas burner installation at both ends of ovens



Result

- (a) Temperature increase at end flue 150 °C.
- (b) Average flue temperature decrease 30 °C.



b. 電力

装入炭設備、コークス押し出し窯口等には集塵機が設置されている。
集塵機のファンには、回転数制御が導入されており、発塵量の多少に応

じ風量制御がなされ省エネルギーが図られている。

(3) 排熱回収による省エネルギー

a. CDQ (coke dry quenching)

乾式消火設備 (CDQ) は、コークス炉から排出された赤熱コークスを、不活性循環ガスで連続的に消火処理するとともに、排熱ボイラにより高温循環ガスから蒸気回収 (250~510℃) をする設備である。低圧蒸気として回収した時は調湿炭設備等製鉄所の各プロセスで利用される。また赤熱コークスの温度は 1,000℃を超える高温であり、高圧蒸気の回収が可能であるため、既設の発電設備に導いたり、あるいは CDQ に付帯する発電設備を新設するなどして電力回収も行われている。CDQ での回収熱量はコークストーン当たり 200~300Mcal になる。なお CDQ では循環ガス中へのリークエアの混入があり CO ガスの発生があるため循環ガスの一部を燃料として回収しており、回収原単位は 20Mcal/t-coke (ガスカロリー 850kcal/m³_N) に達する。

Figure 1.8、Figure 1.9 に熱勘定例とプロセスフローシートを示す。

Figure 1.8 Heat Balance of a Coke Oven (an example)

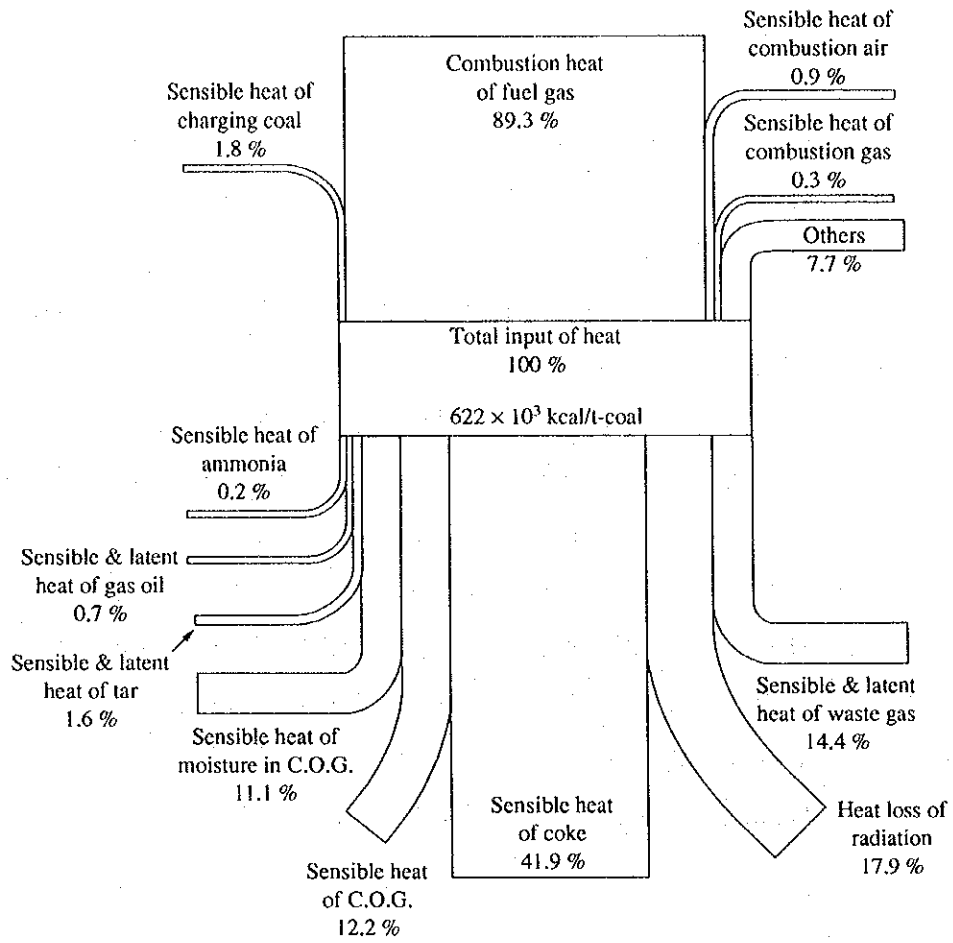
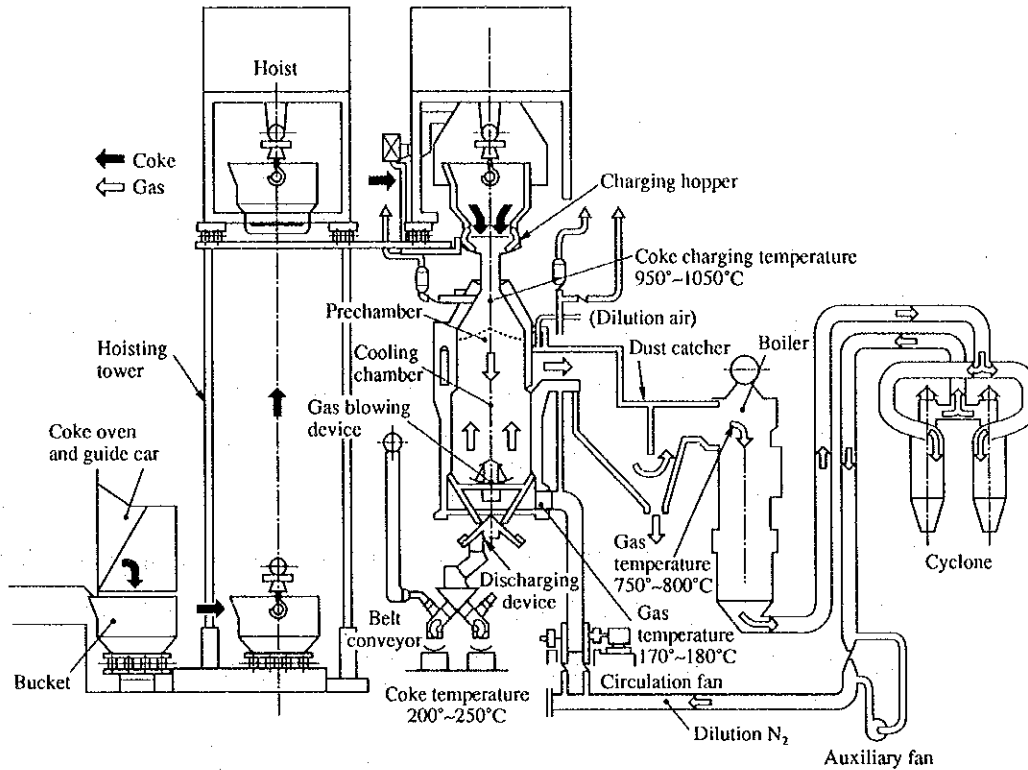


Figure 1.9 General Arrangement and Process Flow Sheet for CDQ



b. コークス炉ガス (COG) 顕熱回収

発生 COG 温度は 800℃もあり、その顕熱 (0℃基準で 110Mcal/t-coal) の一部を回収するため、上昇管熱交換器が実用化されているが、コークス炉が多数のチャンバに分かれているので設置数が多くなり、経済上の理由からあまり普及していない。発生 COG がガスクーラで冷却されるのを利用して、ガスクーラ内で CDQ ボイラの給水予熱を行い、19Mcal/t-coal 程度の熱回収を行っている事例はある。

1.2.1.3 高炉

(1) 高炉工程

高炉工程では、鉄鉱石、焼結鉱およびペレット等 (以下鉄鉱石という) を原料とし、同時に装入されるコークス、並びに羽口から吹きこまれる重油、天然ガス、微粉炭などを熔融熱源および還元剤として、銑鉄を生産する。

高炉の上部から鉄鉱石、コークスおよび石灰石を装入する。炉内に充填され

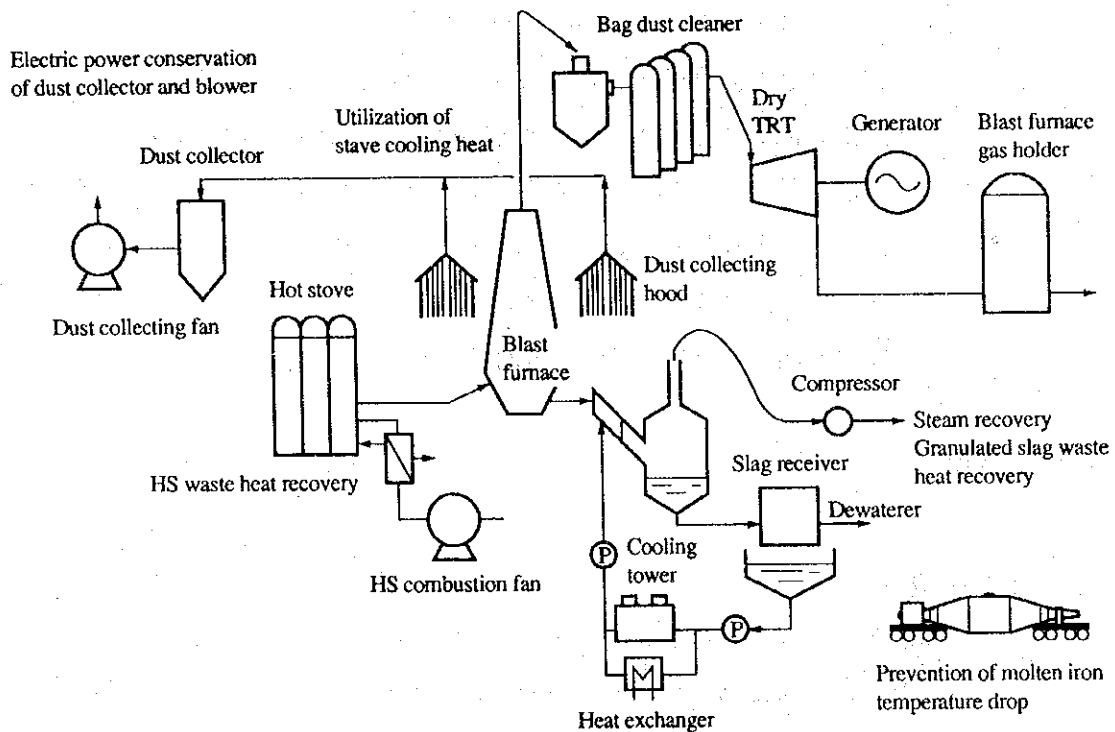
たコークスは炉下部に設けられた多数の送風羽口から吹き込まれる高温空気により燃焼し還元ガスを生成し鉄鉱石を還元する。還元された鉄鉱石は熔融鉄として炉底に溜まり、出鉄口を経て炉外に取り出される。鉄鉱石中の不純物は熔融スラグとして取り出される。

一方、上記反応の結果、炉頂からは未反応 CO、H₂ を含む燃料として充分利用可能な高炉ガス (BFG) が発生するので、このガスを除塵後、燃料として有効に利用している。

高炉操業過程では、鉄鉱石の熔融・還元に必要なエネルギー (約 1,750Mcal/t-pig) が多大であるので、製鉄全工程の 57% のエネルギーを消費している。近年、高炉の生産コストの低減およびコークス炉の寿命延長を図るべくコークス炉の操業度 (生産量) を落とし生産量を低下コークスに代る炭材として、安価な非粘結微粉炭を多量に吹き込む PCI (Pulverized Coal Injection) 技術が普及し 100~200kg/t-pig の微粉炭が吹き込まれるようになってきている。

Figure 1.10 に高炉のフロー図および省エネルギー対策を示す。

Figure 1.10 Flow and Energy Conservation Measures of the Iron Making Process



(2) 操業改善・設備改善による省エネルギー

a. 燃料比 (コークスなど)

高炉では、鉄鉱石を還元・熔融するためのエネルギーとしてコークス、重油、微粉炭および天然ガスなどが使用され、その消費原単位を燃料比と呼んでいる。

燃料比の低下または燃料比のコントロールは、高炉操業上重要な操業技術の 1 つであり経済面でも大きな影響を与える。

一般的には燃料比の低減は製造コストの低減につながるため従来より炉頂装入物分布の適正化などによる高炉内ガス利用率 ($\text{CO} / \text{CO} + \text{CO}_2$) の向上、炉体熱損失の低下 (例えば送風羽口断熱)、送風温度の上昇、処理鉄比率の増加などを実施し、燃料比を下げる努力を続け技術を確立してきた。(燃料比としては 420kg/t 程度まで下がった実績がある)。

一方最近では高炉のガス発生炉的役割を重視し、製鉄所全体のエネルギーコストを最小化する高炉操業条件を求め、適正な燃料比で高炉操業を行なうようになってきている。例えば石炭より電力の方が単位熱量当り単価が高い場合、高炉の燃料比を高くし、ガス発生量を増加させ自家発電量を増加し、購入電力量を減らす等の方法が採られている。

Figure 1.11、Figure 1.12 に高炉燃料比と高炉正味消費エネルギーとの関係および、高炉のヒートバランス例を示す。

Figure 1.11 BF Fuel Rate vs BF Energy Intensity

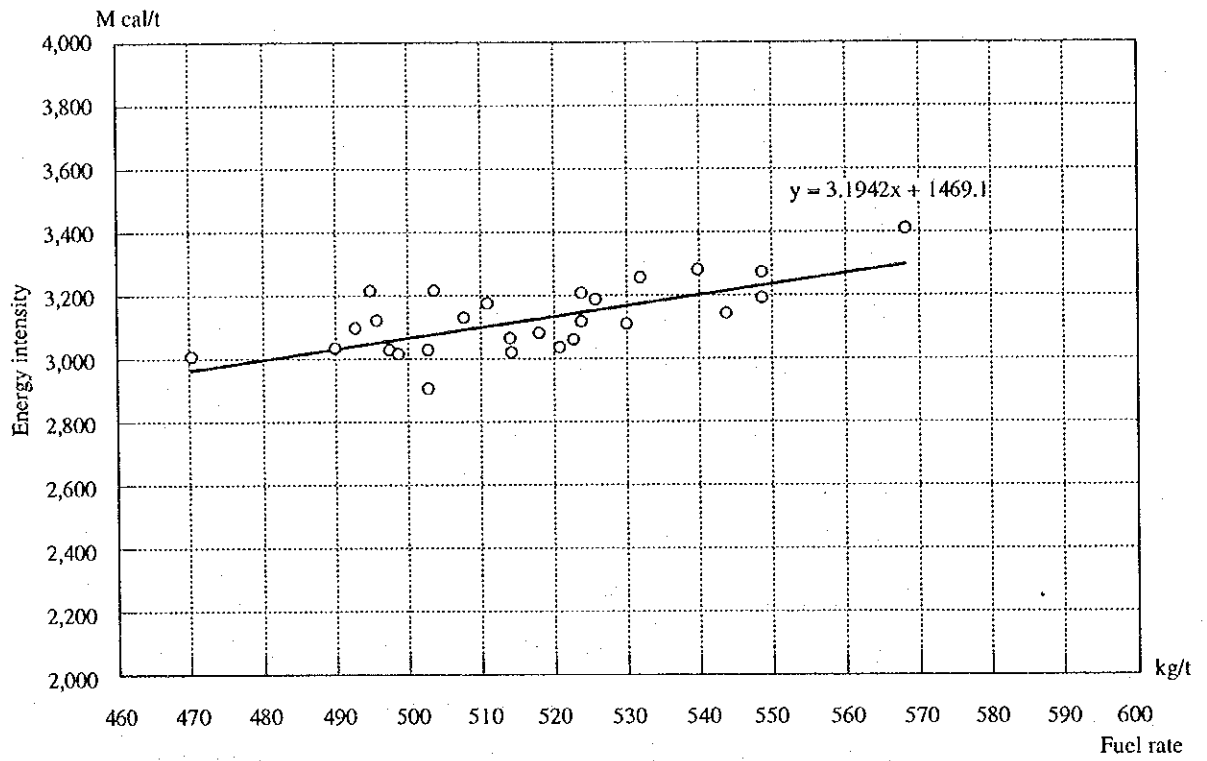
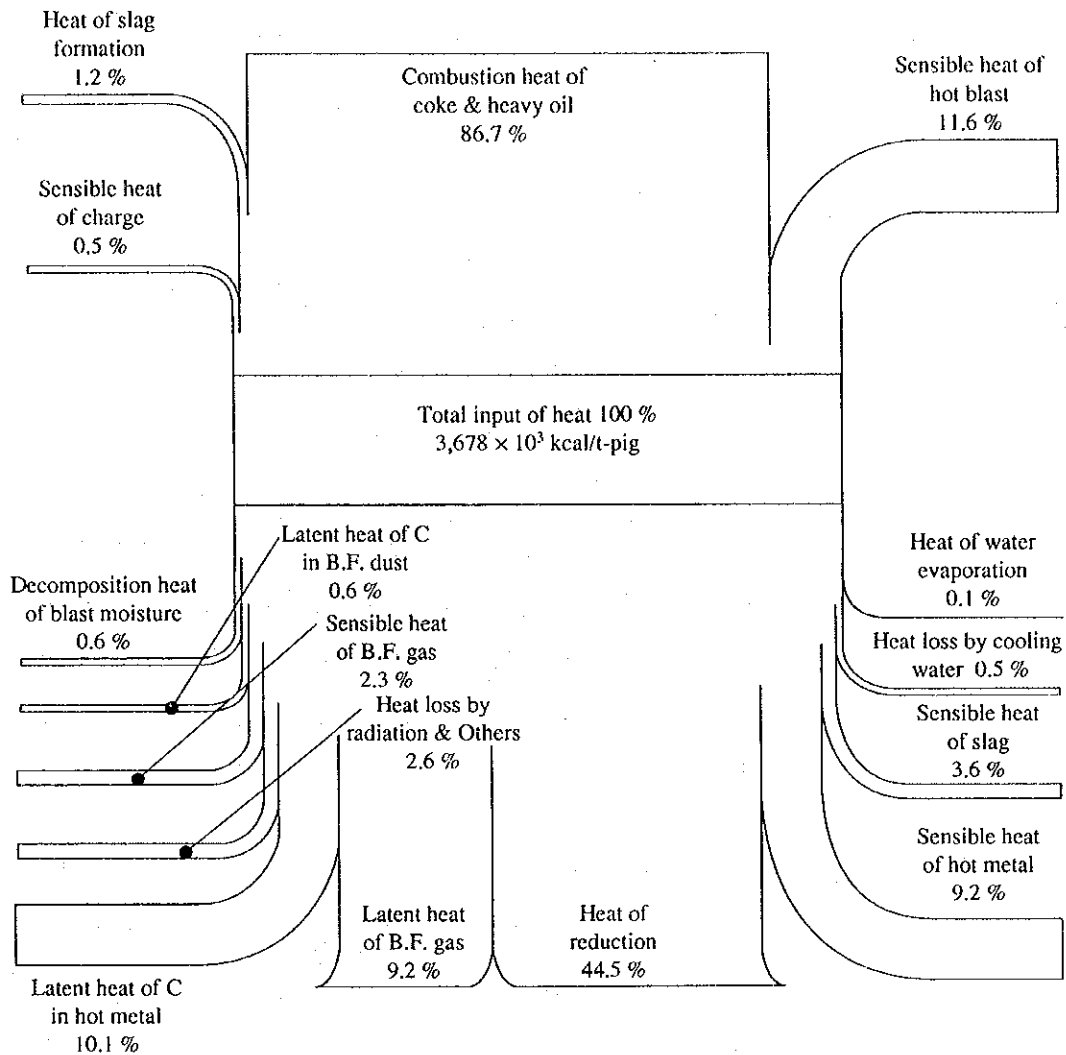


Figure 1.12 Heat Balance of a Blast Furnace (an example)



b. 燃料 (熱風炉)

バーナの改良、スタッガード平行送風法の導入、計算機による投入熱量の制御、低空気比燃焼、燃料ガス弁と空気弁の制御方法の改善による未燃 CO ガス発生防止および使用熱量カロリーアップによる熱量原単位の低減等の改善により、燃料原単位が約 2%向上した。

c. 電力

ポンプやファンを適切な容量 (能力) になるようインペラカットしたり、集塵機ファンなどは必要なときのみ増風できるように、回転数制御を導入し省電力をはかる方法が一般的になり省エネルギーに対し効果を上げ

ている。

- ・ 鑄床集塵機ファンの風量制御
- ・ 熱風炉燃焼ファンの風量制御および容量の適正化
- ・ 冷却水、集塵水ポンプの回転数制御および容量の適正化

(3) 排熱回収による省エネルギー

a. T.R.T (Blast furnace top pressure recovery turbine)

1.5~3kg/cm² (G) の炉頂加圧下で操業 (高圧操業という) する高炉の炉頂ガス圧力エネルギーを、膨張タービンで電力として回収する TRT は日本でほぼ 100%普及しており、製鉄所における排熱回収設備を代表する設備である。湿式 TRT は高炉送風機が消費する動力の約 45%を回収できるので、銑鉄トン当たり 35~50kWh (85~120Mcal/t) の電力を回収できる。また、近年普及している乾式 TRT は炉頂ガス圧力に加え炉頂ガス顕熱も同時に回収しようとするものであり、40~55kWh/t (100~135Mcal/t) の電力を回収できる。

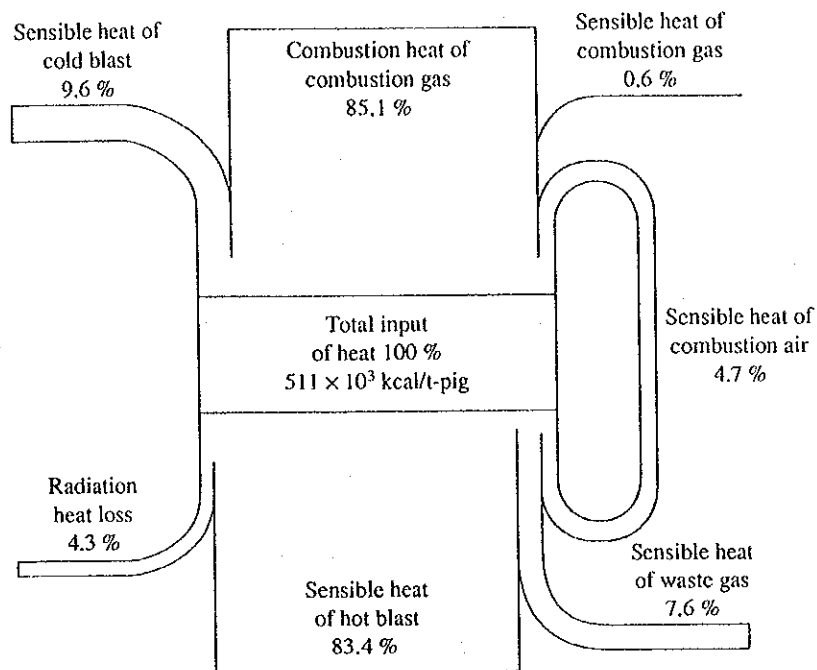
b. 熱風炉排熱回収 (空気予熱)

熱風炉の排ガスは、温度は平均 250℃程度であるが多量に発生するので、回転式または熱媒体を利用した熱交換器でその顕熱を燃焼用空気の予熱 (燃料ガスの予熱も可能) に利用できる。日本における本設備の普及率はほぼ 100%である。

一般に熱風炉の熱効率は良いもので 80%程度であるが、空気予熱器設置により、効率が約 4%増加し (燃料原単位は 20~25Mcal/t 改善) 熱効率は 84%程度まで向上する。

Figure 1.13 に熱風炉のヒートバランス例を示す。

Figure 1.13 Heat Balance of a Hot Stove (an example)



1.2.2 製鋼

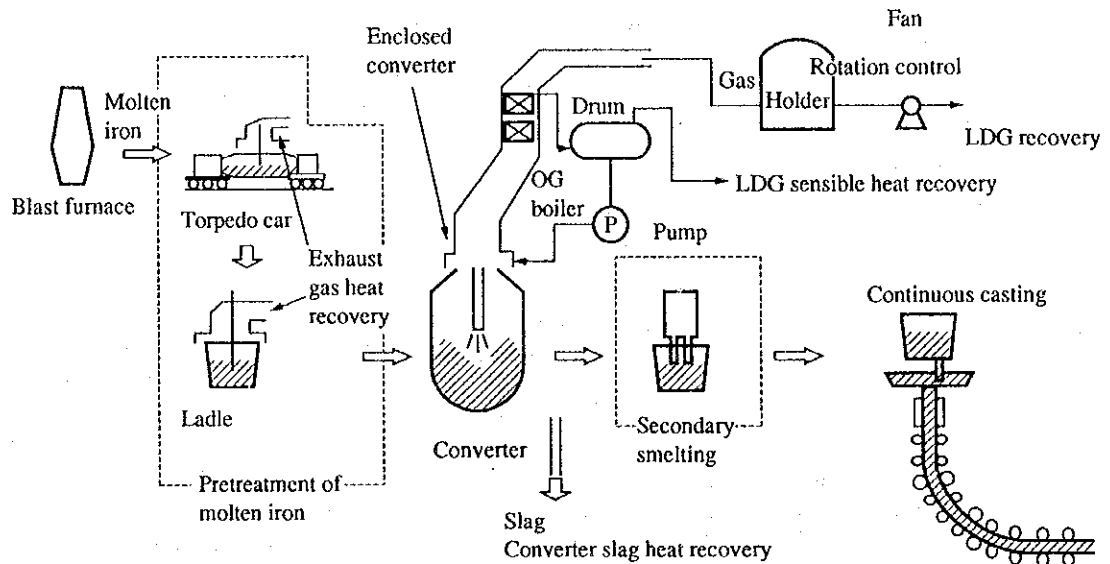
(1) 製鋼工程

製鋼工程は、転炉および精錬装置により、溶鉄から炭素・珪素・硫黄・リンなどの不純物を取り除き必要な添加剤を加え鋼にしたのち、造塊設備または連続铸造設備 (CC) により鋼片を製造する工程である。

溶鉄は約 1,500℃で高炉から出鉄されるが輸送および予備処理 (脱 Si、S、P) の過程で温度が下がり、約 1,350℃で転炉へ装入される。顕潜熱として溶鉄鉄が持ち込む量は約 700Mcal/t-steel である。溶鉄中の各成分 (C、Si など) の転炉に於る酸化反応熱および溶鉄顕熱は溶鋼・溶融スラグの顕熱および転炉からの排ガス顕潜熱へ転換される。

Figure 1.14 に製鋼工程のフロー図および省エネルギー対策を示す。

Figure 1.14 Flow and Energy Conservation Measures of the Steel Making Process



(2) 操業改善・設備改善による省エネルギー

製鋼工程において、めざましい省エネルギー成果をあげたのは、連続 casting 設備の採用および使用比率の向上である。日本では 1974 年に約 27% しかなかった連続 casting 比率は 1986 年には 93% を越え、1995 年には 98.1% となっている。連続 casting 設備の導入に伴い普通造塊および分塊圧延設備が不要になる等工程の省略および歩留りの向上により、エネルギー原単価が 150~200Mcal/t-steel 改善した。歩留りについては普通造塊一分塊圧延プロセスが $0.97 \times 0.88 = 0.85$ であるのに対し連続 casting 設備への変更後は 0.985~0.99 の結果を得ており著しく向上していることが判る。

製鋼工場の主要設備である転炉は、通常 2 基装備 1 基操業または 3 基装備 2 基操業で、しかもバッチ操業である。製鋼工場は製錬用に酸素を多量に消費するほか、転炉本体、鍋、 casting 設備などの保熱・乾燥用に燃料を使用し、またポンプやファンの動力源として電力を使用している。

一方転炉では精錬に伴い、溶銑中の C、Si などの酸化反応により、大量の高温ガス (CO を 90~95% 含む) が発生するので、この潜熱および顕熱が回収されている。回収方法としては、発生ガスを燃焼させ転炉廃熱ボイラにより蒸気として回収するか、またはガス回収装置により転炉ガス (LDG: 約 $2,000 \text{kcal/m}^3_N$) を燃料として回収する方法があり、その結果製鋼工場の正味消費エネルギーはほぼ "0" になる。

ただし、最近では鋼の品質向上（高品質化）をはかるため、鋼中の水素、酸素、リン N_2 等の不純物を減少させるため、脱ガス処理等の2次精錬の比率が上昇し、50～100Mcal/tの正味エネルギーを消費している。

なお、最近では製鋼部門のコストを下げるために高炉では出来るだけSiの低い溶銑を生産するようにするとともに、溶銑予備処理（脱Si、S、P）を行った後転炉に装入する工場が増えている。

a. 酸素

主として、溶銑中の炭素・珪素などの不純物を取り除くために使用するので、酸素原単位を改善するには、吹止温度およびカーボンの中率の向上を計り再吹錬率を減らすこと、溶銑中の珪素を下げる（これは高炉プロセスの操業努力による）、できるだけ吹止温度を下げかつ歩留りを上げることが大切である。これらの対策の1つとして転炉の底部から不活性ガス等を吹き込み溶湯を攪拌し酸化除去されるべき[Si]、[C]等を強制的に拡散させ反応を促進させることで鉄の酸化ロスを減少、酸素原単位を低減させる方法が採用されている。

また、酸素発生工場での酸素放散ロスの減少のためには転炉をできるだけ同じ吹錬サイクルで操業すること、および酸素プラントとのコミュニケーションを良くすることが大切である。

b. 電力

転炉や連続鑄造設備（CC）がある時間を越えて停止する時、ポンプやファンを停止して、空転時間を短かくする一方、その能力が適切かどうかチェックし、必要能力より設備能力が大きい場合、適切な小型のものとり置きするなどの対策をとるべきである。

集塵機については、必要箇所から必要量、必要なタイミングで集塵できるように、ファンの風量制御、ダンパの自動切替などを行う対策が必要である。

c. 燃料

鍋やタンディッシュの保熱・乾燥などに燃料を使用しているが、排熱回収による燃焼用空気予熱装置付きバーナーの採用、鍋/タンディッシュ

(Tundish) の回転率に見合った保熱・乾燥基準を作成する必要がある。適切な基準に沿い管理することで使用燃料の削減が可能になる。特に減産した場合等は保熱乾燥用燃料の絶対使用量も原単位も増える方向となるので、注意を払う必要がある。

また転炉排ガスよりの熱回収設備として排熱ボイラを設けた場合は、転炉の非吹錬中は排ガス発生がなくなるため蒸気圧力が降下する。これを防止するため重油や天然ガスで助燃する必要があるが、その助燃を次の転炉吹錬開始までにタイミングよく終え、助燃燃料を削減する様努力する必要がある。助燃に使用の燃料の使用量のターゲットは転炉 3 分の 2 基操業時約 20Mcal/t またはそれとしたい。

d. 歩留向上

転炉および CC での歩留向上はエネルギー原単位向上に大きな効果がある。このためには転炉での吹錬温度をできるだけ下げるとともに、吹止温度および成分的中率の向上をはかる。CC では極力連々铸比率の向上をはかるべきでありそのための対策を常に考えるべきである。

(2) 排熱回収による省エネルギー

a. 転炉排熱ボイラ (燃焼式)

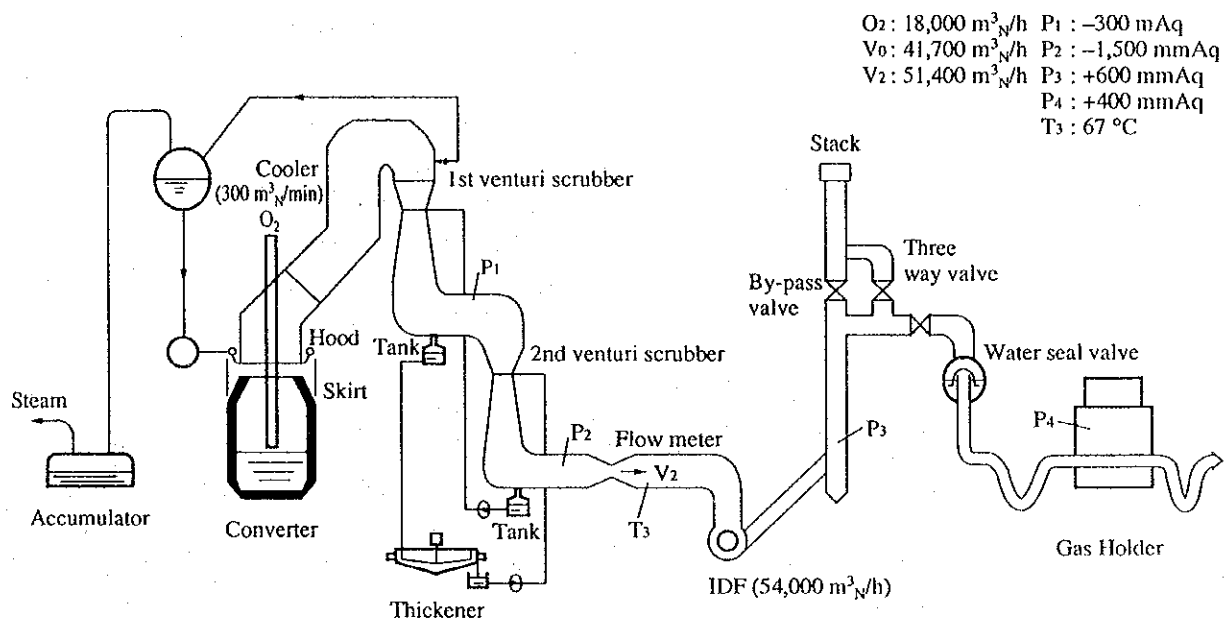
転炉では酸素吹錬による精錬過程で大量のダストを含む高温排ガスが発生するので、冷却・集塵する必要がある。ガス発生量は鋼 1t 当り約 100m^3_{N} で、ダスト含有量は約 $100\text{g}/\text{m}^3_{\text{N}}$ 、排ガス温度は約 $1,500^{\circ}\text{C}$ である。排ガスの主成分は CO で約 95%を占めている。一方、転炉はバッチ操業でありかつ高温の CO を含むガスを安全に冷却・集塵し回収することが難しかった為、排ガスをいったん燃焼させボイラで蒸気回収する方法 (排熱ボイラ) がまず開発された。しかし排熱ボイラは建設費が高く、メンテナンスコストもかさむ割に、熱回収原単位が 200Mcal/t 程度と低く加えて、回収蒸気の発生がバッチ的で消費先との需給調整がむずかしいという問題があった。

b. 転炉ガス回収 (非燃焼式)

1960年代にガス回収方式が実用化されて以来、ガス回収方式が転炉の排熱回収の主流を占めるようになり、回収原単位は約 $90 \sim 100 \text{ m}^3_{\text{N}}/\text{t}$ ($2,000 \text{ kcal}/\text{m}^3_{\text{N}}$ 換算) である。最近では、ガス回収装置の一部をボイラ構造にし、顕熱も回収する方法を採用している例もあり、排熱回収熱量は $240 \text{ Mcal}/\text{t}$ 以上に達している。

Figure 1.15 に転炉排ガス回収システムフロー図を示す。

Figure 1.15 Flow Diagram of a Converter Gas Recovery System



1.2.3 圧延

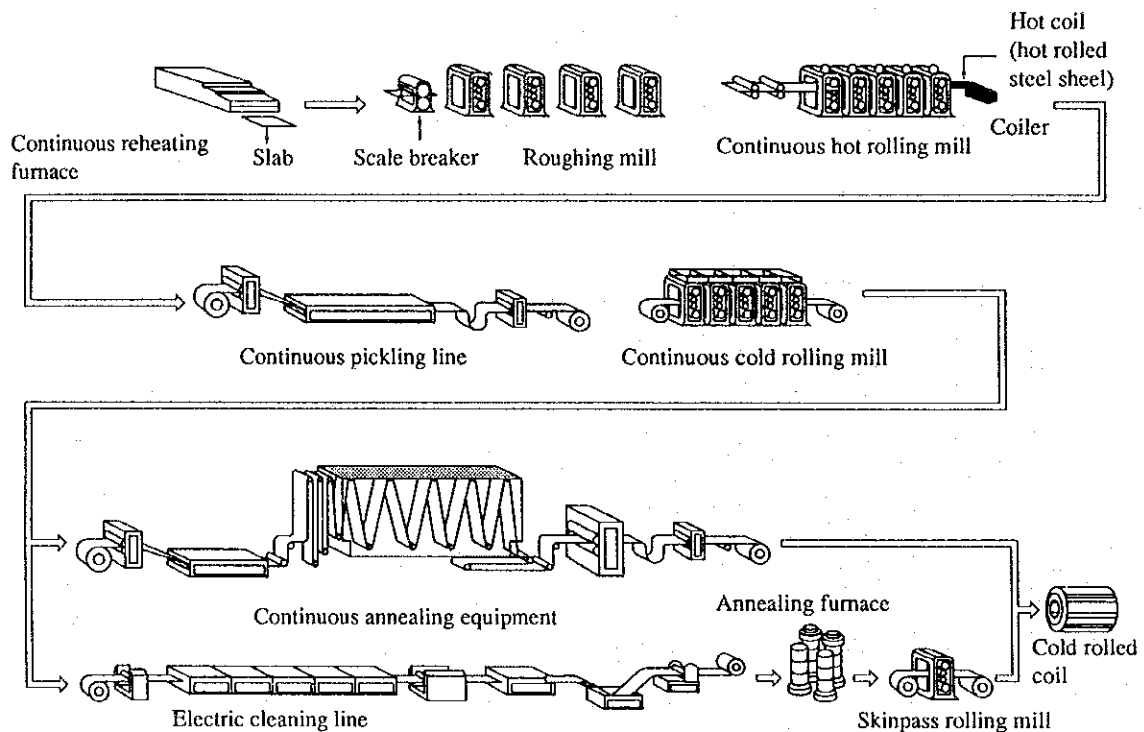
(1) 圧延工程

圧延工程は、鋼片 (スラブ、ブルーム、ビレット) を加熱炉で所定の温度まで加熱したのち、圧延機で圧延し、目的の形状およびサイズに加工するプロセスである。圧延工程は、熱延・厚板・形鋼・棒鋼・線材を製造する 1 次圧延と冷延・溶融鍍金・電気鍍金・溶接鋼管・鍛接鋼管・継目無鋼管の 2 次圧延に区分される。

1 例として Figure 1.16 に薄板 (冷延鋼板) の製造工程を示す。最初の熱間圧延工程では加熱されたスラブを粗圧延機、仕上げ圧延機に通し薄い鋼帯に圧延し、散水冷却しながら品質調質し、ホットコイルにする。酸洗により表面

のスケールを除いたのち、冷間圧延機に通してさらに板厚を減らすとともに鋼板の結晶組織を整える。次いで連続焼鈍設備に通し、均熱徐冷または急冷処理を行って加工性を改善し、冷延鋼板とする。冷延鋼板にはさらに用途によってメッキなどの表面処理が施される。

Figure 1.16 Cold Steel Sheet Production Process

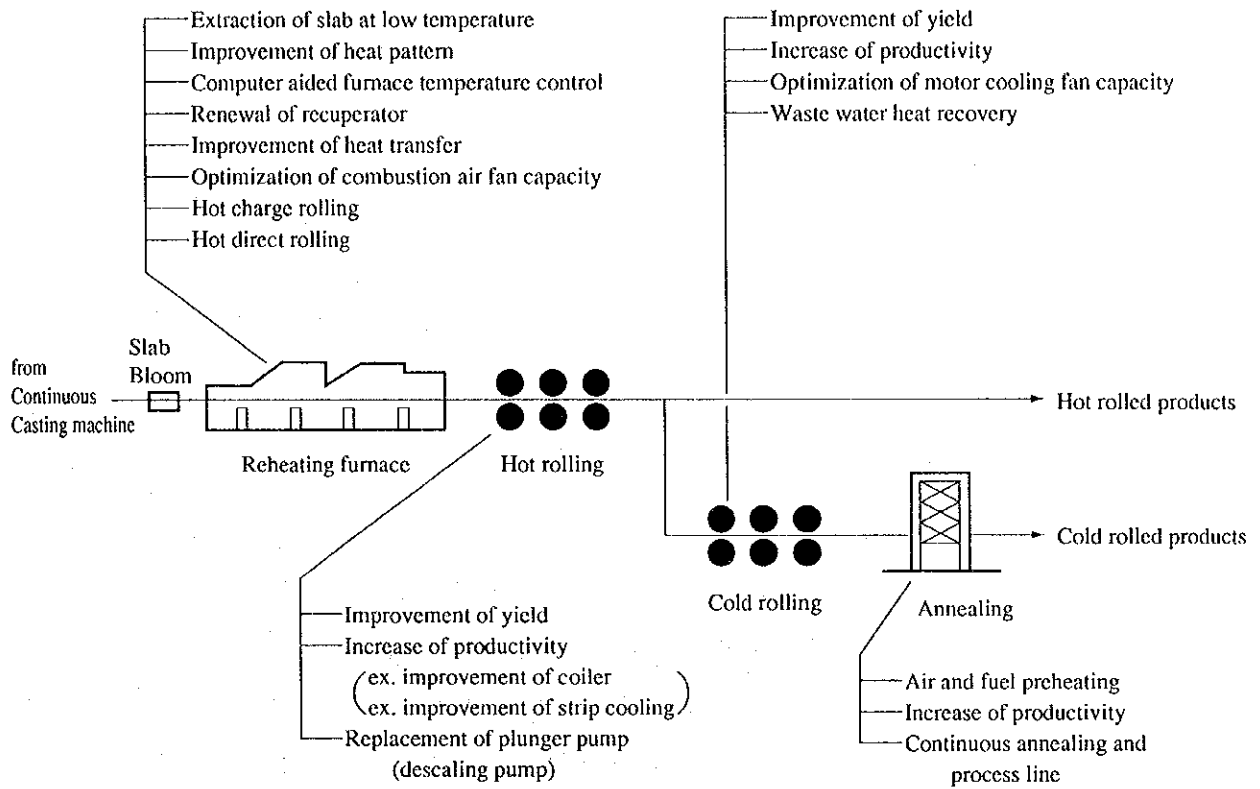


形鋼・棒鋼・線材のような条鋼、厚板および鋼管製造などでも加熱・圧延加工などによる塑性加工、必要に応じ溶接、更には熱処理などの処理がなされ製品化されている。圧延プロセスは製品および品質に応じた諸工程から成り立っていると言える。

圧延工程のエネルギー原単位は 1 次圧延で約 546Mcal/t、2 次圧延で約 660Mcal/t であり一貫製鉄所の全エネルギー使用量の 13～ 15%を占めている。ここでは主として、1 次圧延部門の省エネルギー対策について説明する。

Figure 1.17 に圧延工程のフロー図および省エネルギー対策を示す。

Figure 1.17 Flow and Energy Conservation Measures of the Rolling Process



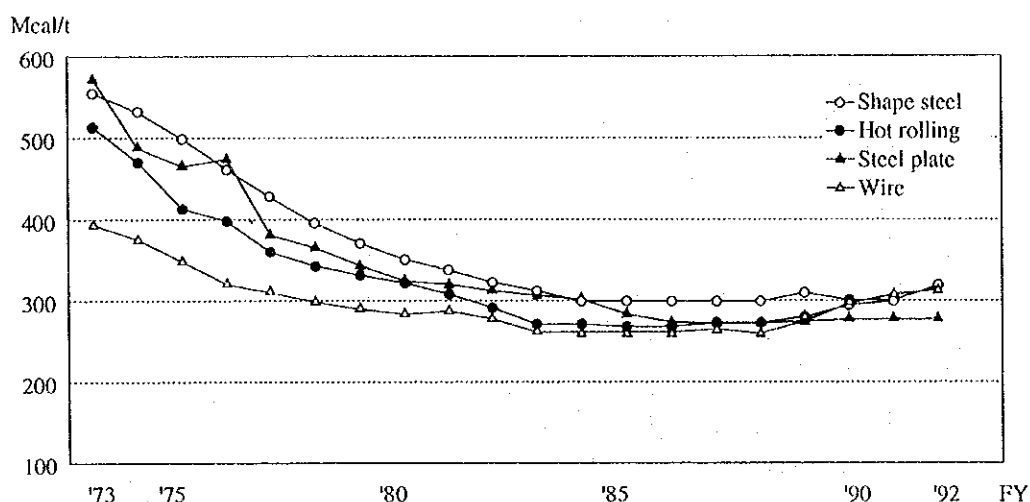
(2) 操業改善および設備改善による省エネルギー

圧延工程で使用されるエネルギーは燃料が約 50%、残りを電力や蒸気が占めている。1 次圧延部門の省エネルギー対策は加熱工程での効率化が主体であり、そして 2 次圧延部門では、圧延、焼鈍、表面処理などの各工程で多岐にわたる対策が実施されている。圧延工程は、加熱・冷却工程の繰返しが多いことから、これらによる熱損失をできる限り低減するために、プロセスの直結・省略・連続化といった観点からの省エネルギー対策が検討され実施に移されている。今後もこの視点での検討、改善が必要である。

a. 燃料 (加熱炉の例)

Figure 1.18 に圧延加熱炉の燃料原単位の推移を示す。

Figure 1.18 Trend of Fuel Intensity of a Reheating Furnace



・熱損失の低減

加熱炉の各種熱損失の中で最も大きな割合を占める排ガス損失熱の低減には、排ガス量の低減 (排ガス中の酸素濃度管理など) および排ガス温度の低減 (ヒートパターンの最適化と、そのための計算機制御の導入など) を図るとともに、炉長延長余熱帯延長等などの設備改善対策が有効である。

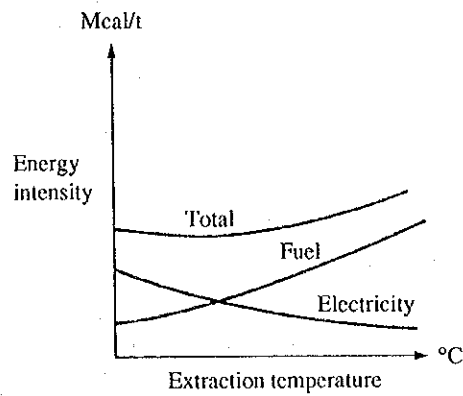
冷却水損失熱の低減にはスキッドパイプの断熱強化 (2重断熱など) やスキッド、クロス、ポストを大型化して本数を削減したり、振動防止あるいは断熱材脱落防止対策などを実施する。炉体放散熱の低減については、セラミックファイバを利用した炉壁の熱容量蓄熱損失の低減、断熱の強化等の対策が有効ある。

・低温抽出など

加熱炉から鋼片をより低温で抽出すると、加熱炉に於る燃料原単位は下がるが鋼材の硬度が上昇するため圧延電力原単位は上昇する方向となる。両者の効果および影響、スキッドマーク等を考慮し極力低温で抽出し省エネルギーを図って行くことが望ましい。

Figure 1.19 のとおり日本の実績では抽出温度低下 10℃当たり、3～ 5Mcal/t 程度燃料原単位が下がっている。

Figure 1.19 Relationship between Energy Intensity and Extraction Temperature



・熱回収の強化

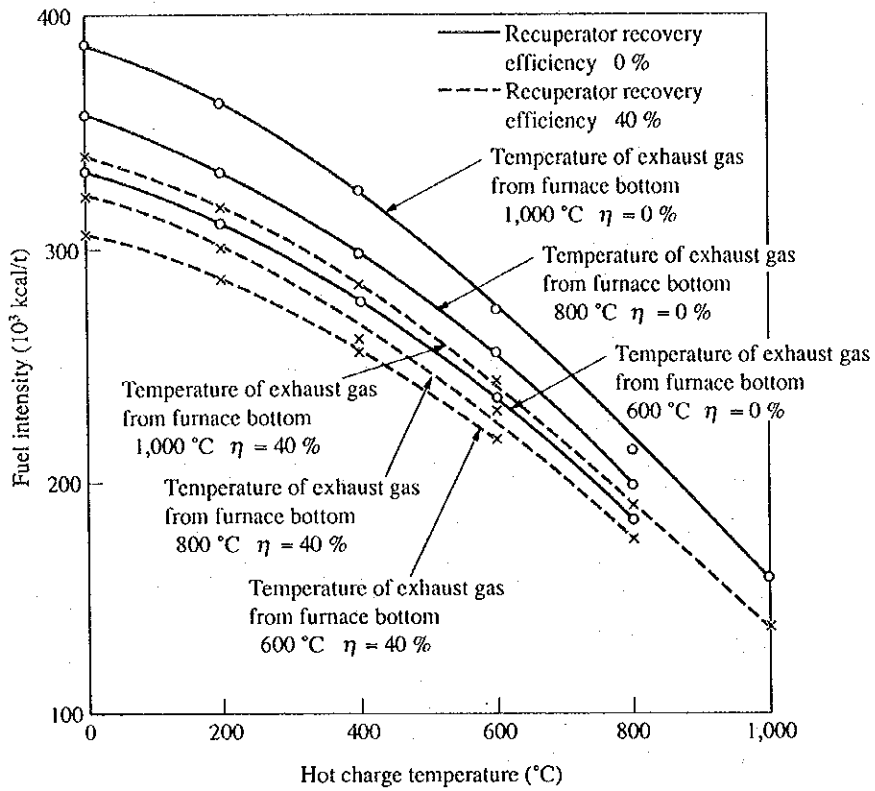
空気予熱器 (レキュペレータ) は伝熱面が汚れると、著しく性能が劣化し燃料原単位が悪くなるので、定期的に簡易熱精算を行い新設当初の温度効率を維持するようにつとめ、問題があれば空気予熱器を補修増強またはリプレースする。

・ホットチャージ率の向上

連鑄工程または分塊工程からの熱鋼片を加熱炉にホットチャージするか、もしレイアウト的に可能であれば直送圧延すると、加熱炉の燃料原単位は飛躍的に向上する (日本における実施率は 60%)。仮りに CC 材を 100% 直送圧延できれば燃料原単位はエッジヒータによる加熱量を加えても 100Mcal/t 以下にできる。

ホットチャージの効果 (試算例) を Figure 1.20 に示す。

Figure 1.20 Effect of Hot Charge Rolling (an example)



・熱勘定例

冷片だけを装入している熱延加熱炉の熱勘定例を Table 1.1 に示す。

Table 1.1 Heat Balance of a Reheating Furnace

Charged slab temperature: cold

(Example 1)

Heat Input	Mcal/t	(%)	Heat Output	Mcal/t	(%)
Combustion heat of fuel	330.3	(94.2)	Heat content of extracted slab	195.3	(55.7)
Sensible heat of fuel	0.2	(0.1)	Sensible heat of scale	5.2	(1.5)
Heat content of charged slab	0	(0)	Sensible heat of exhaust gas	82.7	(23.6)
Scale formation heat	20.0	(5.7)	Heat of cooling water	11.1	(3.2)
			Heat loss	56.2	(16.0)
Heat recovered by recuperator	(34.9)	((10.0))	Heat recovered by recuperator	(34.9)	((10.0))
Total	350.5	(100)	Total	350.5	(100)

Overall heat efficiency = $\{195.3/(330.3 + 0.2 + 20)\} \times 100 = 55.7 \%$

Furnace effective length and width: 29.8 L \times 9.28 W (m)

Nominal capacity: 170 t/h

(Example 2)

Heat Input	Mcal/t	(%)	Heat Output	Mcal/t	(%)
Combustion heat of fuel	318.7	(97.6)	Heat content of extracted slab	194.8	(59.7)
Sensible heat of fuel	0	(0)	Sensible heat of scale	2.1	(0.6)
Heat content of charged slab	0	(0)	Sensible heat of exhaust gas	33.3	(10.2)
Scale formation heat	8.0	(2.4)	Heat of cooling water	43.8	(13.4)
			Heat loss	52.7	(16.1)
Heat recovered by recuperator	(62.7)	((19.2))	Heat recovered by recuperator	(62.7)	((19.2))
Total	326.7	(100)	Total	326.7	(100)

Overall heat efficiency = $\{194.8/(318.7 + 8.0)\} \times 100 = 59.6 \%$

(Example 3)

Heat Input	Mcal/t	(%)	Heat Output	Mcal/t	(%)
Combustion heat of fuel	462.1	(90.5)	Heat content of extracted slab	206.8	(40.5)
Sensible heat of fuel	0.6	(0.2)	Sensible heat of scale	5.5	(1.1)
Heat content of charged slab	0	(0)	Sensible heat of exhaust gas	195.0	(38.2)
Scale formation heat	20.0	(3.9)	Heat of cooling water	65.0	(12.7)
Sensible heat of atomizer	27.7	(5.4)	Heat loss	38.1	(7.5)
Heat recovered by recuperator	(51.1)	((10.0))	Heat recovered by recuperator	(62.7)	((19.2))
Total	510.4	(100)	Total	510.4	(100)

Overall heat efficiency = $\{206.8/(462.1 + 0.6 + 20.0 + 27.7)\} \times 100 = 40.5 \%$

b. 電力

圧延用電力削減のためには圧延用電力の消費特性を調査し、効果の高いものから実施すべきであるが、経験的には以下の項目が考えられこれら対策は2次圧延部門の省エネルギーに対しても有効である。

- ・ 圧延用電力原単位は一般に圧延時間に比例するので圧延能率 (t/h) を上げる。
- ・ 加熱炉のファン、圧延機モータの冷却ファンやポンプなどの容量をチェックし、オーバースペックのものをスペックダウンする。
- ・ 照明も含め、非圧延時間に補機を停止できるように設備改善をする。
- ・ ポンプやファンの効率を調べ、低ければ高いものにリプレースする。

c. 蒸気

酸洗ライン、クリーニングラインなど2次圧延部門では蒸気を多量に使用している。蒸気流量を計測し、その消費特性を調査することにより効果的または容易な部分から省エネルギー対策を実施して行く必要がある。日本では本法による調査の結果、最適な対策が見つかり蒸気消費量を70%程度減少させた例が多くある(排水と補給水の熱交換を実施させる設備を設けたり、水をカスケード利用(2段使用等)するなど比較的簡単な改善例があり効果をあげている)。

(3) 排熱回収による省エネルギー

a. 空気予熱

鋼材の温度を高温まで加熱する必要があるため、高温火炎を得るため燃焼用空気予熱器の設置は一般的に行われている。

b. 燃料ガス予熱

徹底した排熱回収をすすめるため、燃料ガス予熱を行っている例もある。

- c. スキッド冷却水顕熱は熱水として熱回収可能であるが、その利用先を並行して検討する必要がある。加熱炉ボイラが設置されておれば、その給水予熱器として利用できる。

d. 加熱炉ボイラ

加熱炉の排ガス顕熱を利用したボイラーも省エネルギーに対し有効であるが、燃料ガス予熱およびホットチャージなどによる燃料原単位低減による排ガス量の減少の影響などを検討し経済効果を確認した上で実施する必要がある。

(4) 工程の直結・省略・連続化

圧延工程が加熱－冷却の繰り返しであるので、究極の省エネルギーは工程の直結・省略・連続化にある。圧延工程における次のプロセスは代表的な省エネルギー技術である。

- ・酸洗工程と冷間圧延工程の直結
- ・洗浄 (Cleaning) －焼鈍 (Annealing) －調質圧延 (Temper Rolling) －検査精整 (Inspection and Conditioning) 工程の連続化 (連続焼鈍設備)
- ・メッキ工程の連続化 (連続メッキ設備)

(5) 歩留向上

圧延部門の歩留向上は製品生産増に直結しており、圧延技術そのものといえる。つまり加熱炉から抽出される鋼片の均一な最適圧延温度維持、最適なロール孔型設計と維持管理などによる均一圧延および表面疵発生防止、加熱炉における過加熱の防止 (過大なスケール損失の防止) クロップロス最小化およびミスロールの削減等技術開発および確立更には設備改善も含めた操業維持管理活動が必要である。

1.2.4 エネルギー設備

製鉄所のエネルギー部門は、製鉄所で余剰となったエネルギー (例えば BFG などの副生ガス) を、製鉄所が必要とするエネルギー (例えば電力・酸素・高炉送風など) に転換する機能、および製鉄所内で使用される電力・燃料・用水・圧空・酸素・窒素などのいわゆるユーティリティの需給管理を経済的に行う機能という 2つの機能を有している。

エネルギー部門での正味消費エネルギーは全工場消費エネルギーに対し 7～9%程度である。エネルギー部門の管轄する設備中で最も多量にエネルギーを

消費するプラントは発電送風プラントおよび酸素プラントである。したがってこの2つのプラントについて説明する。

1.2.4.1 発電送風プラント

古い製鉄所では、建設費の低減等の理由で発電プラントと高炉送風プラントを同一プラント内に設置し、ボイラを共通に使用しているところが多い。

最近では、エネルギーの効率化の観点から発電所と高炉送風プラントを分離し、発電所の熱効率の向上をはかっている。

(1) 操業改善および設備改善による省エネルギー

(ボイラ)

- ・ 燃焼管理の強化
- ・ 空気予熱器のシール機構の改善
- ・ ボイラブロー水量の低減
- ・ ボイラ給水ポンプおよび誘引送風機等の回転数制御

(蒸気タービン)

- ・ 復水器真空度管理の強化 (効果的なチューブ清掃時期の決定)
- ・ 復水器連続洗浄装置取付け
- ・ 高効率蒸気タービン翼への改造
- ・ タービン内部シールの適切なタイミングでの取替
- ・ 蒸気タービン抽気利用率の向上 (プロセス蒸気への利用率アップ)

(高炉送風機)

- ・ 吸込フィルタの圧力損失低減
- ・ 高炉操業にマッチングするよう送風機を改造 (送風機のインペラー段数削減など)

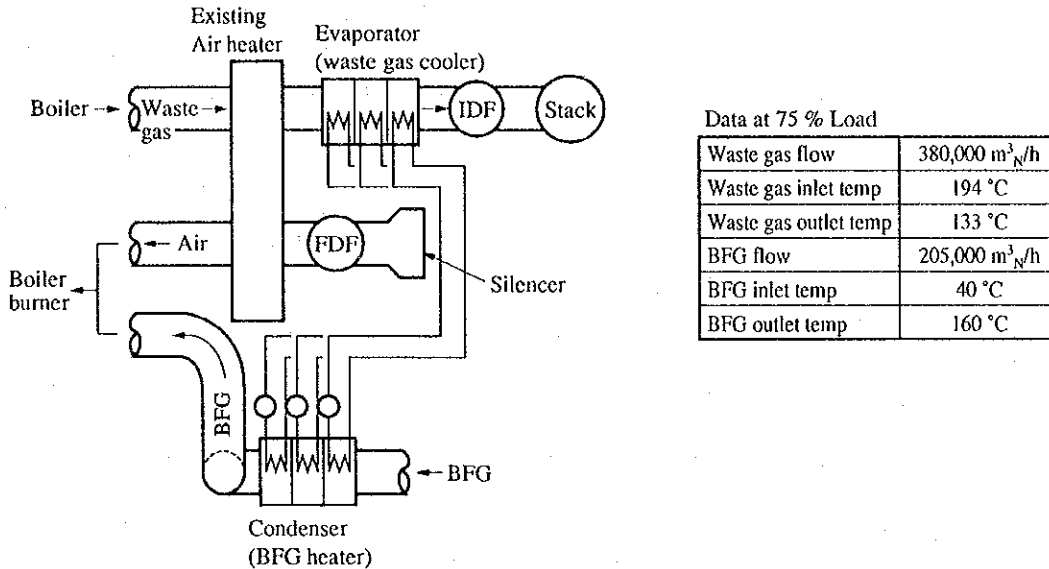
(2) 排熱回収による省エネルギー

a. 燃料

設備の排熱回収事例としては、ボイラ排ガスによる燃料 BFG の予熱器が

ある。BFG はカロリーが低いので（日本では $800\text{kcal/m}^3_{\text{N}}$ ）ボイラ効率は 86% 程度であるが、燃料 BFG の予熱器設置により効率は 90% まで上げることができる。実施例を Figure 1.21 に示す。

Figure 1.21 Effect and Flow of a Fuel Gas Preheater (an example)



b. 電力

工場用蒸気の供給ラインに減圧弁を用いて蒸気圧力を減圧している場合、減圧弁の代わりに背圧タービンを設置し電力を回収している。

(3) 発電送風プラントの近代化、高効率化

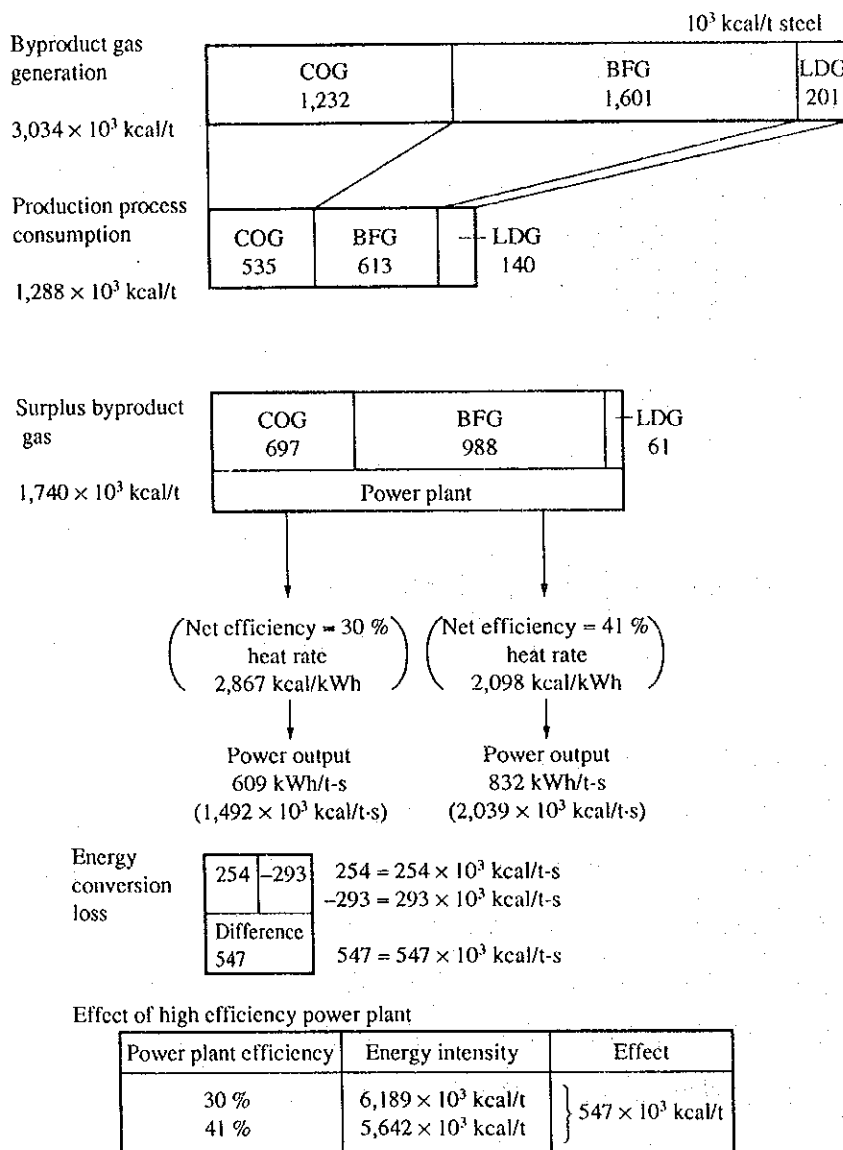
従来は、発電送風プラントは製鉄所の付属設備として考えられ、エネルギー転換効率はあまり重要視されていなかった。しかし、近年省エネルギーに対する意識の向上に伴いこれらの設備も見直され省エネルギー対策が講じられる様になった。エネルギー転換効率を改善すると購入エネルギーの削減、つまり製鉄所全体のエネルギー原単位の低減に大きく寄与するのでエネルギー設備の高効率化がはかれるようになった。

a. 発電効率改善によるエネルギー原単位改善 (検討例)

発電効率の向上が向上全体のエネルギー原単位改善に如何に寄与するか

を示した例を Figure 1.22 に示す。この図は日本の近代的製鉄所の余剰ガス量 (原単位) を示し、同時にこの余剰ガスを利用し正味発電効率 (送電端効率) 41%で発電したと仮定して算出した発電量を示す。この結果から明らかな様に製鉄所で使う電力 832kWh/t はすべて余剰ガスによる発電で自給できることが判る。製品品質の高度化に伴う電力使用量増加にも充分対応できることを示している。

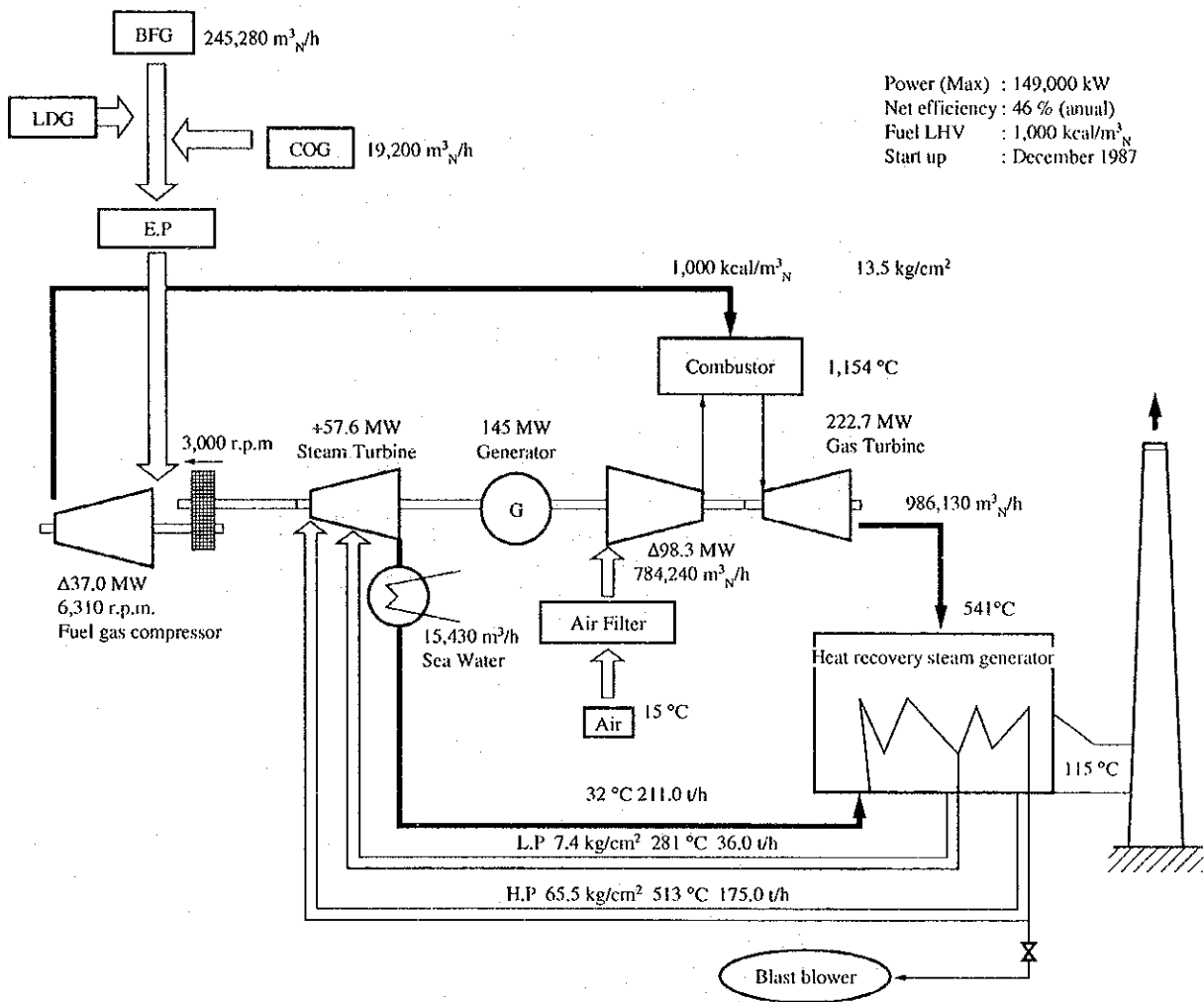
Figure 1.22 Effect of a High Efficiency Power Plant (an example)



b. ガスタービンコンバインドサイクル発電

近年 $1,000\text{kcal/m}^3_N$ という低カロリーの高効率ガスを燃料に使いながら発電効率46%という高効率ガスタービンコンバインドサイクル発電設備が開発されている。本設備を導入しエネルギー原単位を大幅に低下させ経済的にも成果をあげ得ている製鉄所も現れている。Figure 1.23 にガスタービンコンバインドサイクル発電に関するフローシートを示す。

Figure 1.23 Flow Diagram of a Gas Turbine Combined Cycle Plant



c. 多目的発電

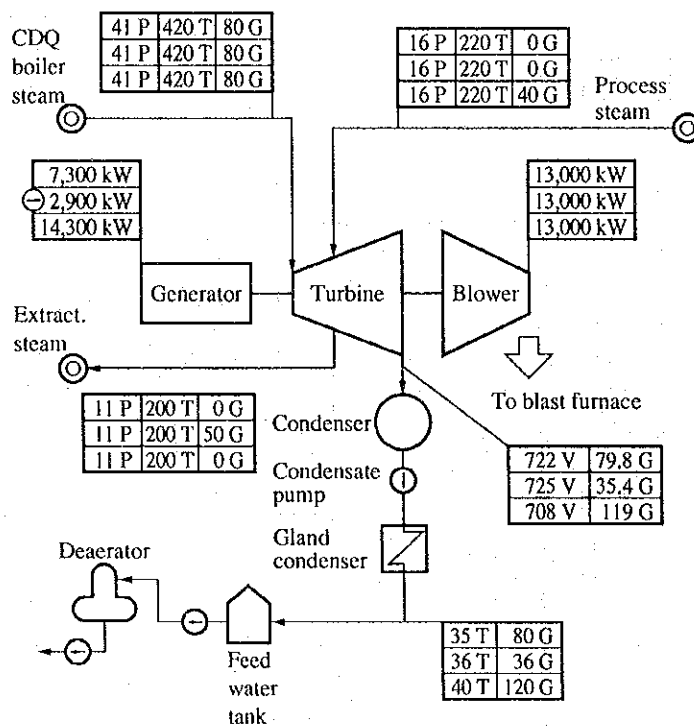
製鉄所の排熱は一般に高温なので、経済的にも蒸気回収が容易で広く普及している。、回収蒸気 (排熱蒸気と称する) はプロセス蒸気として各所で利用されている。一方近年プロセス蒸気の需要は省エネルギーの進展

に伴ない減少する傾向が見られる。全蒸気の需要に対し排熱蒸気の供給割合が増えてくると、季節により、あるいは大口需要設備の保全停止日には蒸気が余剰になり一方、排熱蒸気を発生するプラントがのため休止すると蒸気は不足するようになる。

このような事態に対応するためには、発電用混気・抽気・復水タービンなどの蒸気需給調整設備が必要となる。

Figure 1.24 にこれら設備を備えたタービンの 1 例を示す。

Figure 1.24 Heat Balance of a Mixed and Extraction Steam Turbine



P : pressure (kg/cm² abs.)
T : temperature (°C)
V : vacuum pressure (mmHg)
G : flow rate (t/h)
kW: output (kW) or shaft power (kW)
⊖ : Required power of motor
Upper line value : blast furnace air supply and power generation with CDQ boiler steam (80 t/h)
Middle line value: maximum extraction (50t/h)
Lower line value : maximum mixing (40t/h)

d. 高炉送風機

軸流圧縮機が主流を占めており、送風範囲が広く効率の良い静翼角度可

変制御が採用されている。従来電源の安定性の観点（停電に対する懸念）から、原動機として蒸気タービンが使用されてきたが近年は電力供給も安定し同時に効率重視および省力化の点から電動高炉送風機にリプレースされていく傾向にある。

1.2.4.2 酸素プラント

製鉄所の酸素プラントは、従来は酸素製造を主とし、大半の窒素は放散廃棄され製造使用される窒素は少量に過ぎなかった。しかし鋼材製品の高級化やプロセスの近代化に伴い窒素使用量が増加すると共に、アルゴンが転炉の複合吹錬に使用されるようになった。窒素、アルゴン共酸素製造過程で得られるガスであるため最近ではアルゴン、窒素の製造のために酸素を放散するような事態が発生するようになり、これらの対策改善も並行して行なわれている。

(1) 操業改善および設備改善による省エネルギー

(酸素プラント)

- ・ 酸素放散防止（転炉操業との連携強化）
(液体酸素および液体窒素製造設備設置による需給調整機能の増強)
(原料空気圧縮機の並列化による酸素発生能力の増強)
- ・ CO₂吸着器の採用
- ・ 原料空気圧縮機の改造（高効率化インペラへ取替および吸込ベーン制御の採用）
- ・ 吸込フィルタの圧力損失低減
- ・ 酸素圧縮機の吸込みベーン制御の採用

(2) 酸素プラントの近代化、高効率化

酸素プラントの効率化のポイントは次の3つである。古いプラントから順次、統合による大型化や高効率酸素プラントの導入が進んでいくものと予想される。酸素製造電力原単位は 0.42～0.46kWh/m³_N、酸素圧送原単位は 0.15～0.17kWh/m³_N、酸素使用量 1m³_N 当りの電力原単位は 0.65～0.70kWh/m³_N である。

- ・ 原料空気圧縮機 ……………高効率インペラ、吸込ベーン制御、高効

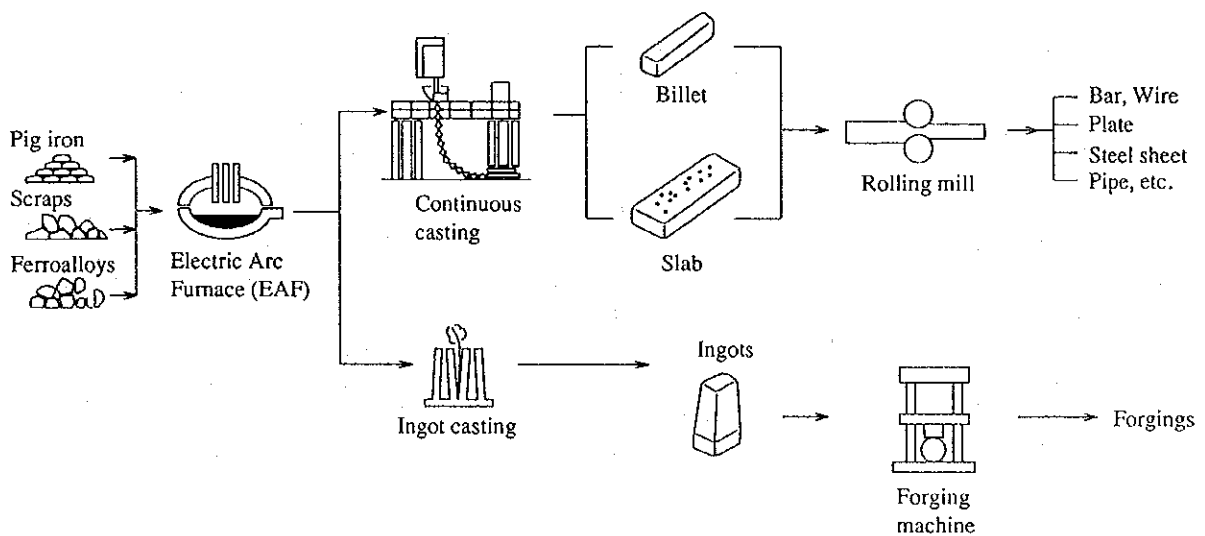
率熱交換器および軸流圧縮機の採用など
による電力原単位の改善

- ・ 空気分離装置 …………… CO₂ 吸着器の採用などにより、原料空気圧縮機の吐出圧力をできるだけ下げる。
酸素発生量の変動幅をできるだけ大きくとれるようにし、放散量を減らす。
- ・ 酸素圧縮機…………… 高効率インペラ、吸込みベーン制御、高効率熱交換器の採用

1.3 電炉工場鑄物工場および鍛造工場のプロセス概要と省エネルギーテーマ

電炉工場は主としてスクラップを原料として使用し、一貫製鉄所の様に鉄鉱石を還元するプロセスがないため粗鋼の当たりエネルギー原単位が低く、スクラップ価格に大きく影響されるが一般に生産コストも低い。電炉ではスクラップ中に含まれるCu、Cr、Niなどの不純物を取除くことはできないので、純度の高い高品質鋼を生産するには不向きであるが、鉄鋼製品のリサイクル率の向上に寄与し製品コストが安いので、今後もそのシェアを拡大していくものと予想される。ここでは、電炉工場の特徴ある設備として電気炉、圧延加熱炉および鍛造加熱炉をとりあげ説明する。Figure 1.25 に電炉工場における原料および製品の流れを示す。

Figure 1.25 Flow of Raw Materials and Products of Arc Furnace Steel-making Method



また、鑄物工場に関しては同工場の約 50%のエネルギーを消費している溶解炉 (キユポラおよび誘導炉) をとりあげ説明する。鑄物工場は鍛造工場と同様、より最終製品 (厳密に言えば機械部品) に近い形まで製品が加工出来るという特徴をもっている。

Figure 1.26 に鑄物工場における原料および製品の流れを示す。

Figure 1.26 Raw Material Flow of Foundry

