

■ シリーズ特集 ■ 各部門における省エネルギー対策 (14)

ビール業界における省エネルギー

Energy Saving in the Brewing Industry

二村 鉄也*・佐藤 国爾**

Tetsuya Nimura Kuniji Sato

1. はじめに

ビール産業は典型的な装置産業であり、生産プロセスの主な工程はバッチプロセスである。昨今ビールの需要は鈍化の傾向にあり、製造原価に占める原材料費、労務費、エネルギーの割合が増加する中でコストダウン対策としての省エネルギー見直しの必要性を余儀なくされている状況にある。特に工程上、加熱、冷却の熱移動が多いプロセスの中で蒸気の有効利用、排熱の回収再利用、冷却用冷凍機駆動のための使用電力の削減、冷水、ラインの有効使用はコスト低減につながる大きな課題といえる。又、ビール産業は用水の大口需要者であり、用水使用量の約10%が製品として、有効に使用され、残りの75~85%は工場排水として、排水処理場で処理された後放流される。このため、排水処理における曝気用ブローアの電力使用量の削減、及び排水の再利用、用水の有効利用も重要な課題となっている。年々ビール工場の設備も技術革新の影響により省力化、省エネタイプの装置が開発されてきているが、ここでは、特に省エネに効果があったと評価される具体的な対策事例をあげその概要を紹介する。

2. ビール産業とエネルギー

2.1 エネルギー消費の概況

工場内で使用するユーティリティとしては電力、用水、蒸気、圧縮空気、ライン、冷水、炭酸ガス、が主なものである。このうち圧縮空気、炭酸ガス、蒸気、ライン、冷水は自家製造が殆んどであるが、電力、燃料、用水は殆んどが外部より購入するエネルギーである。尚電力については最近スチームタービンによる自家発電設備を有する工場も増えつつあり、又、用水の一部は井戸を掘り地下水を揚水し使用している工場

表1 ビール3社の主要エネルギー使用量(昭和57年度)

	燃料[kℓ]	電力[KWH]	用水[m ³]
K社	157×10^3	362×10^6	32×10^6
S社	43×10^3	113×10^6	8×10^6
A社	27×10^3	60×10^6	5×10^6
計	227×10^3	535×10^6	45×10^6

も多々見受けられる。ビール産業における57年度ビール3社の主要エネルギーの使用実態は表1の通りである。ビール産業は食品業界の中では工場の規模は最も大きくエネルギー消費も大口消費の上位を占めている。ビール産業におけるエネルギー原単位は、概略ビール1ℓ製造するのに燃料は約44ℓ、電力は約103KWH、用水は約9m³程度となっている。参考までに当社のエネルギー費用は、57年度総額で約206億円となっており、その内訳は燃料53%、電力36%、用水11%である。従って5%の省エネが達成出来たとすれば、年間約10億円のコスト節減となりその効果は非常に大きいといえる。

2.2 ビール製造工程とエネルギー使用形態

ビール製造工程と加熱、冷却を必要とする工程区分を図-1に示す。ビール製造の主要工程は、製麦工程、仕込工程、発酵工程、貯蔵工程、濾過工程、製品工程の6工程に分けられる。その製造概要は以下の通りである。ビール大麦を発芽させ乾燥した麦芽(モルト)を粉碎し副原料と湯を加え、でん粉を糖化させ麦芽糖液とする。これを濾過したものにホップを添加し煮沸(100℃)させ麦汁をつくる。麦汁はホップを分離し冷却(5℃)する。この麦汁にビール酵母を添加し発酵させると糖分はアルコールと炭酸ガスに分解する。約1週間低温発酵させると若ビールが出来あがる。若ビールは更に味と香りを高めるために0℃の貯蔵タンクに移し約2ヶ月間後発酵させ完全に熟成させる。これを濾過すると製品ビールとなり樽に直接詰めたものが生ビールであり、壺に充填した後低温殺菌(約65℃)したものが通常のラガービールである。仕込は1バッチ100

* 麒麟麦酒㈱ 京都工場施設課長

〒625 京都市南区久世高田町126

** 麒麟麦酒㈱ エンジニアリング部設計課設備管理技術員

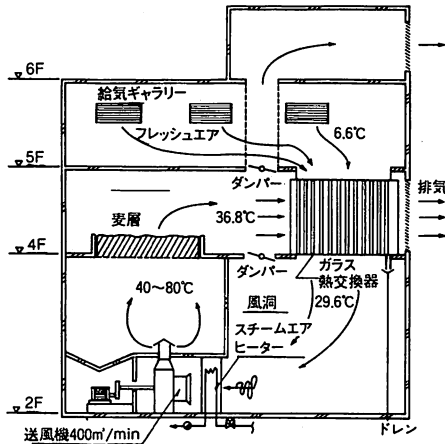


図-2 製麦キルン排熱回収設備

の事例とは限らない点をご理解頂きたい。

3.1 製麦工程キルン排熱回収装置

発芽過程を終った緑麦芽を保存性をもたせるとともに粉碎し易いような麦芽に仕上げる為に乾燥工程がある。約40℃から80℃まで段階的に20時間程度かけて熱風を送り乾燥するがこの時排出される高温多湿のキルン排ガスの凝縮潜熱を新鮮供給空気に再利用するのがキルン排熱回収装置であり、ガラス管製熱交換器を介して熱回収を行う。ヨーロッパでは既に1977年頃に製麦業界に導入されており、当社においても1980年横浜工場に第1号機が設置された。この熱回収装置を用いると使用熱量の約 $\frac{1}{3}$ が節減可能である。図-2にその概要を示す。現在の熱交換器はスイスのエアフローリッヒ社と国内では岩城硝子で製作されている。熱交換器はモジュール化されており組合せにより必要な伝熱面積がとれるようになっている。ガラス管は外径20mm、内径17.6mm、長さ2m程度のものである。熱交換器はこのガラス管数万本より構成され、ガラス管の内側にフレッシュエアが通り、外側を排気ガスが通過する。熱回収効率は80%程度であり、圧力損失も小さく、耐食性にすぐれ、自己洗滌性があるため伝熱面の汚れが小さく運転効率が低下しにくい等の利点がある。

3.2 ウォルトパンコンデンサー

(麦汁煮沸釜排気凝縮器)

麦汁煮沸の目的は水分、揮発性成分の蒸発、麦汁の殺菌、酵素の失活、凝固物の形成並びにホップ苦味質や香味成分の抽出等である。煮沸は釜に取付けられたスチームコイル、ジャケット等により蒸気により加熱され、通常蒸発率7~12%で90~120分程度かかり煮沸される。この時排気される100℃近くの蒸気を凝縮器

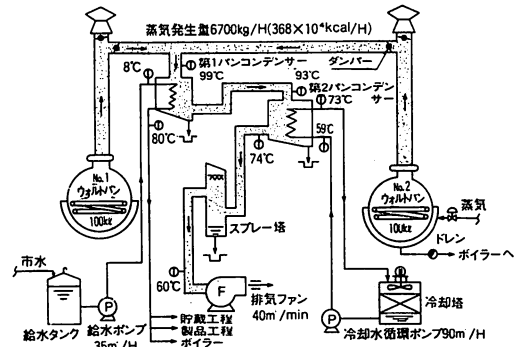


図-3 ウォルトパンコンデンサー排熱回収設備

により熱回収する設備がウォルトパンコンデンサーである。本来は排気蒸気の脱臭を目的として設置されたものであるが、その除去率は30%程度であり完全なものではない。図-3に設備の概要を示す。図の事例は約80℃の湯を1日当たり700トン程度回収可能な設備を示す。パンコンデンサーはシエルアンドチューブからつくられており、蒸気をチューブ上に凝縮させ熱エネルギーを湯として回収するものであり、熱回収率は70%程度である。この設備は仕込毎に使われるものであり、ほぼ連続運転に近い状態となる。この為、昼夜一定量の湯が発生することになり大量の湯を無駄なく使い切る事が難しく、一時的に湯を保持する大きなタンクが必要である。図-3に示す例は利用出来ない発生蒸気を冷却塔で冷却して放熱する方式を採用したものである。熱回収した湯は主として、ボイラ給水用及び貯蔵、製品工程での殺菌、洗滌用として使われる。ウォルトパンコンデンサー以外に発生蒸気の熱回収方法として、排蒸気圧縮や吸収式冷凍機に利用する方法等がある。排蒸気圧縮方式は発生蒸気を約2kg/cm²に圧縮し加熱源として再利用するものである。吸収式冷凍機では発生器の加熱源として使用することにより逆に冷熱源を得ることにより煮沸後の工程である麦汁冷却に利用する方法等が採用されている。

3.3 ワールプールタンクシステム

(Whirlpool Tank)

麦汁煮沸の際に生成した蛋白質やタンニンが凝集した物質を熱トループと称している。熱トループの除去には従来一般的な手段として麦汁遠心分離機が用いられていたが、エネルギー、設備費、省力化の有利さからワールプールタンクシステムが採用されるようになった。図-4にワールプールタンクシステムを示す。ワールプールの原理はAlbert. Einsteinのティーカップ説を出発点としている。ティーカップの中をスプーン

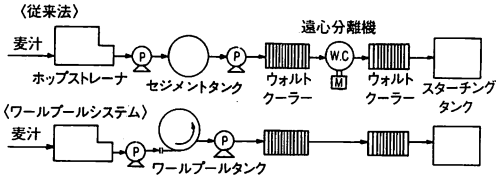


図-4 ワールプルタンクシステム

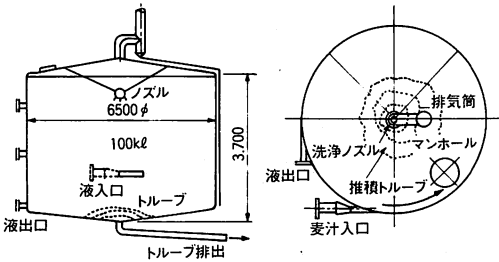
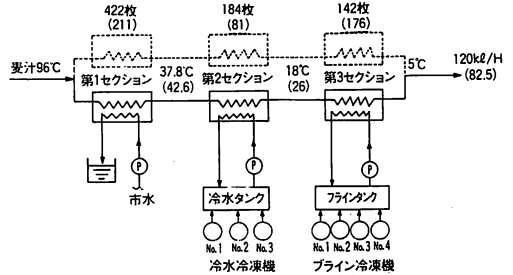


図-5 ワールプルタンク概要

で攪拌し回転運動を与えその後しばらく放置すると茶葉はティーカップ底部の中央に集合して堆積するという理屈である。ワールプルは1960年に初めてUSAで発表され2~3年でドイツの殆どどの醸造工場で使用され現在世界中のビール工場でのシステムが採用されている。図-5にワールプルタンクの概要を示す。ワールプルタンクは密閉型の円錐底板を有する円筒容器で円周に対し接線方向の麦汁流入管、上中下3箇所麦汁出口管、トループ排出管、及びタンク洗滌ノズルより構成されている。麦汁をポンプにて加圧し20~30分程度でワールプルタンクに移し約20分程度静置することによりトループが中央に堆積する。このものを洗滌ノズルにより排出することにより分離が出来る。ワールプルの採用により遠心分離機が不要となり140~230 KWH/kℓ-麦汁(1日当たり約2,000 KWH)の電力が節約可能である。

3.4 麦汁冷却システム

麦汁冷却の主目的は麦汁を酵母添加にふさわしい温度まで冷却することである。この冷却には通常プレート式熱交換器が用いられる。このシステムは熱交換器により95℃程度の熱麦汁を約5℃まで冷却する工程であり、麦汁に加えた大量のエネルギーを回収する重要な工程である。通常冷熱源として市水、井水、冷水、ブラインが用いられるが、各セクションにどのように負荷配分をするか経済的な麦汁冷却運転方法を追究することが必要である。麦汁冷却の最適化は冷凍機設備、水温、外気温、用水単価、電力単価の要因を考慮して冷却に要する費用を最少にするように熱負荷配分を行うことである。又冷却器は使用時間の経過とともに伝熱面に汚



点線は増設部分。()内数字は改造前を示す

図-6 麦汁冷却システム

れが付着し伝熱係数が低下するので、工程の洗浄が必要である。図-6はサンニーション強化と冷却器の洗浄時間を確保するためにプレート増枚を行い処理能力をアップした事例である。この結果1日1回、苛性ソーダ洗浄を可能とした事により、第1セクションの熱回収効率が増加し第2、第3セクションの冷却負荷が軽減され冷凍機で使用されるエネルギーが大幅に削減出来るようになった。この事例の場合、投資額740万円に対し節電費960万円/年、節重油費630万円/年となった。通常第1セクションの市水は仕込の原料用水として熱回収し使用されるので、出来るだけ高温(80℃以上)で回収するような方法を採用している。

3.5 用排水関係対策事例

(1) 洗機機洗浄排水 pH 中和装置

製品工程における洗機機の塩のすすぎ洗浄排水は、水量は多いが汚濁負荷が少ないため(CODIppm前後)排水量並びに排水負荷低減の一つとして雨水系に放流する方式を採用した。但し洗浄排水はpH 10~11程度あり放流規制値をオーバーするため炭酸ガス吹込みによる中和装置を新設し放流するようにした。この場合所轄官庁の水質汚濁防止法にかかわる許可を受ける事が必要である。図-7に装置のフローシートを示す。その概要は洗機機の塩のすすぎ排水をポンプアップしOH式瞬間ミキサー(OHL(株)製)を介し炭酸ガスを吹込むことにより約0.04秒で反応を100%完了させ中和するものである。吹込量は安定槽のpH計にて測定し調節計により炭酸ガスの吹出量を電磁弁を介して制御している。炭酸ガス使用量は約0.4kg/㎡排水である。炭酸ガスを用いる利点はビール製造過程における副産物を用いる事が出来ること、取扱いが簡単で安全であること、過剰に入れても大気圧下ではpH 5以下にはならないこと、並びに酸液のように希釈装置が不要で2次公害の心配がないこと等があげられる。図-7の場合はポンプ容量が60t/hで過去1年間で約6万トン

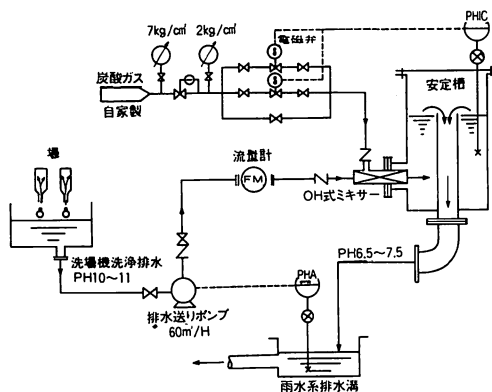


図-7 洗機洗浄排水 pH 中和装置

処理した実績がある。

(2) 曝気槽省エネ型散気装置

ビール工場の排水処理の殆んどは活性汚泥法による浄化が行われている。この浄化、活性にはエアレーションが必要であり、気泡の粒径を出来るだけ微細にして気泡の接液面積を大きくし、且つ槽内に空気中の酸素を万遍なく行き渡らせることが必要である。従来よく用いられている多孔質散気管(ポアサイズ 300~600 μ)があるが最大の欠点として、目詰りを生じブロワーの電力消費増をもたらせる問題をかかえている。OH式エアレーターはこれらの問題を殆んどクリアした散気管で圧損が殆んどなく目詰りを生じない。しかも理想的な曝気状態が得られると考えている。図-8に曝気の状態、図-9に多孔質散気管との酸素吸収効率の比較を示す。本体は外径 130 mmの円筒製でガイドベーンとカレントカッターが付いている簡単な構造である。原理は底部の水が空気の浮力により空気と水との混相流としてこの筒内を通過する時に激しい気液接触搅拌を行わせ極微細な気泡を同伴して水面に向け連続的に押し出し槽内を循環させるものである。空気量は1ヶ当り $1 \text{ N m}^3/\text{分}$ 程度が最適とされている。取付後、ブロワーの吐出圧は従来 $0.5 \text{ kg/cm}^2 \text{G}$ のものが $0.43 \sim 0.45 \text{ kg/cm}^2 \text{G}$ の範囲で安定しており、特に目詰りを生じることなくメンテナンスが容易である。OH式エアレーターのエアリフト効果と圧損が少ないことにより、従来品に比較して約15~20%の電力削減が期待出来ると考えている。

(3) 汚泥乾燥機省エネ改造

排水処理に伴い発生した余剰汚泥は通常、脱水、乾燥、又は焼却処分するケースが多い。乾燥用熱源としてはスチーム又は熱風がよく用いられる。当社の乾燥機はスチームドライヤが多いが、ここでは回転式搅拌

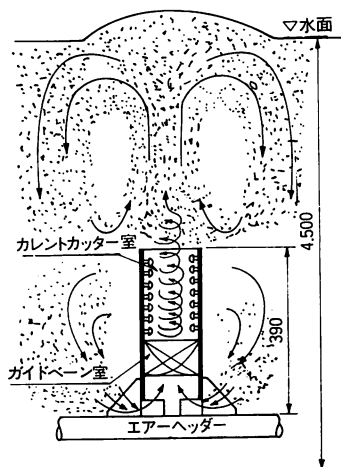


図-8 槽内液流分布及び OH エアレータ構造

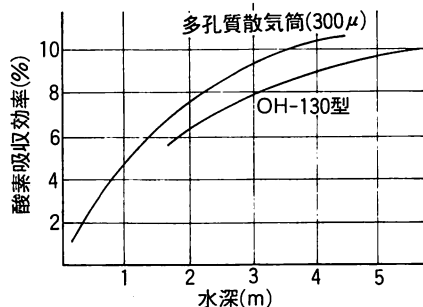


図-9 水深と酸素吸収効率の比較

(但し清水における傾向を示す)

粉碎装置付熱風乾燥機の省エネ改造事例を照会する。当該設備は昭和47年に設置したもので省エネについては余り考慮されたものではない為、燃料原単位が著しく高かった。(約 $1.85 \text{ l-oil/kg-D.M.}$)。改造内容はガンタイプバーナーを低圧空気噴霧式比例制御バーナーに更新し空気比を 1.5 より 1.1 とした。又脱臭後の排ガス温度が高い為に排熱回収用熱交換器を新設し燃焼用空気の予熱を行うようにした。その他排ガス循環のフロー改善、空気漏洩対策を行い熱損失を出来るだけ少なくする対策を立てた。図-10に改造前後のフローシートを示す。この結果燃料原単位は 1.15 l/kg まで下り約38%のA重油削減となった。設備投資額は約 4,000 万円であったが省エネ改造により年間約 3,400 万円の燃料削減が達成出来た。

(4) その他

排水処理にかかわるその他の省エネ対策としては工場全電力使用量の約15~18%を占めるブロワーの効率的な運転方法を検討する必要がある。最近ではD・O連続

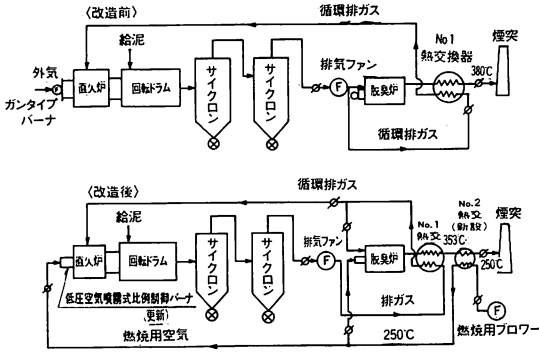


図-10 汚泥乾燥機省エネ改造

計測器によるブロワーの台数制御並びに回転数制御が採用され10~20%程度の節電を達成している。調整槽については水位によるブロワー台数制御を行っているケースもある。何れにしても電力削減の為に、平日、休日の負荷に応じた適正 D. O 値を維持するためのきめ細かな運転管理が重要である。汚泥脱水機については従来真空式ベルトフィルターが多用されてきたが、最近では高効率のベルトプレス型脱水機がさかんに開発されビール業界にも採用されつつある。ベルトフィルターでは含水率89~91%程度の脱水が限度であったが、ベルトプレス型では78~82%程度の脱水が可能となり、燃料削減効果大きい。排水処理の省エネ運転方法の一つとして低MLSS運転(MLSS:16,000 PPMから10,000 PPMに低下)を行うことにより電力が約18%削減出来たという報告がある。

3.6 CIP 殺菌洗浄システム

(Cleaning in Place)

ビール工場は品質管理、品質保証の点から原料、半製品、製品の微生物管理が特に重要である。設備のサニタリー化とあわせ機器、タンク、配管等の洗浄殺菌設備を設置し洗浄殺菌の効率化と管理の強化を図っている。従来は手洗浄も多く湯殺菌でも湯のタレ流しを余儀なくされ、労力をかけるとともにエネルギーの浪費のもとに微生物のレベルを維持してきたが、昨今CIPによる自動洗浄システムにより安全にしかも洗浄効果の向上と安定並びに湯の循環使用等により最少のエネルギーで最大の洗浄効果が得られるようになった。CIPシステムはCIPステーション、湯、薬剤液の送り、回収配管、温度及び薬剤濃度調節装置等から構成されており、シーケンスコントローラーにより一定のプログラミングに従って必要な洗浄殺菌が自動で工程毎又は工程のブロック毎に行なえるようにしたものである。図-11にCIPによるタンク洗浄の1例を示す。

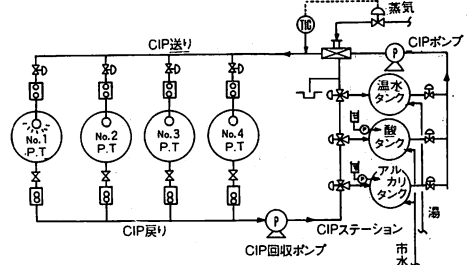


図-11 プレッシャータンク(P.T)CIPシステム

3.7 その他代表的な省エネ事例

(1) スチームアキュムレータ

ビール工場はバッチプロセスのため特に仕込工程において蒸気の負荷変動が大きい。当該設備を設置することにより、低負荷又は負荷変動時にボイラからの余剰蒸気を飽和水として蓄蔵しピーク負荷時に応じて蓄熱を利用することが出来、ボイラーを経済運転させることが出来るとともにボイラの設備能力を小さくすることが可能となる。当社で使用しているアキュムレータの保有水量は120トン前後のものが多いが、昭和41年当社尼崎工場に設置されたアキュムレータはわが国でははじめての120トンアキュムレータである。

(2) 動力設備の分散設置

冷凍機、ボイラ、空気圧縮機は最近の新設工場では分散配置して小型化し放熱や動力損失を出来るだけ少なくし効率の良い運転方法を導入しているケースもある。

(3) ドレン回収

洗壘機のドレンは回収して1~2槽の予熱用に使用している。又特に仕込工程のドレンは全蒸気使用量の約40%程度に相当するので加圧クロズドシステムにより回収効率をあげる方法がとられるようになった。

(4) 機器の保温

仕込各釜、洗壘機、及び低温殺菌機のような大型機器で加熱を必要とするものは外面保温の見直しを行い放熱ロスの防止対策が講じられている。

(5) ケイソウ土汚過機

ビール汚過工程はビールの前清澄用として遠心分離機が使用されていたが、最近汚過性能の点からケイソウ土汚過機が導入され、この為に遠心分離機が不要となり電力節減と湯使用量の削減に大きな効果上げている。

4. 省エネ対策の今後の課題

ビール業界ではかなりの設備投資を伴う省エネ対策を含め各種の対策を積極的に進めてきているが、未だ

充分といえる段階に到達している状況ではない。特に新鋭工場と旧工場との設備及びエネルギー管理面の比較において、昨今のコンピュータ化を反映し両者には相当の開きがあることは否めない。今後旧工場のエネルギー原単位を新工場並を目標として、僅かでも引下げる努力を続けることは当然のことである。従来の省エネ推進方法は節約、設備の効率化が主体であったが今後は第2次省エネ時代として総合的なシステムティックの省エネ対策が要求されているところである。その方法として種々のエネルギー管理手法が提唱されており、既に多くの企業で導入されているが、MAP法、SAVEプログラム等の手法を取り入れ科学的、合理的な省エネを地道に進め定着化させ息の長い活動を展開することは重要な課題といえよう。

省エネルギーはソフト面で70%、ハード面が30%効果に寄与するといわれており、ソフト面のアプローチは実効を上げるために重要なポイントと考えられる。

参考文献

- 1) 麒麟麦酒㈱ 技術研究報告書
- 2) 麒麟麦酒㈱ エネルギー対策概要書
- 3) 麒麟麦酒㈱ 社内教育資料
- 4) ㈱オーエイチ・エル パンフレット
"OHL ミキシング技術の概要"
"OH 式エアレーターについて"

「エネルギー・資源」通巻第23号(新年号)(刊行59年1月5日)

〔巻頭言〕

新年を迎えて エネルギー・資源研究会副会長、東京工業大学名誉教授 森 康夫

〔論 説〕

エネルギー・資源問題と国連大学の役割 国連大学 副学長 武者小路公秀
最近の石油価格低下と経済へのインパクト 京都大学経済研究所教授 森口 親司
長期エネルギー需給予測 ㈱三菱総合研究所応用経済部 主任研究員 吉田 康之

〔展 望〕

パルスパワー技術の開発とその将来(第1部) 東京大学工学部電気工学科助手 上野 勲

〔解 説〕

企業間エネルギー共同利用の研究 センチュリサーチセンタ㈱開発第一グループ研究員 橋爪 泰夫

〔特 集〕

エネルギー経済・エネルギーシステム(その2)

- (1) 流体燃料源と利用システムの経済評価 東京大学工学部電気工学科教授 茅 陽一
- (2) 新エネルギー技術の評価のためのエネルギーシステム分析 電子技術総合研究所主任研究員 小山 茂夫
- (3) 石炭エネルギーへの転換と環境評価 公害資源研究所公害1部課長 横山 長之
- (4) エネルギーと立地の経済評価 (財)電力中央研究所・経済研究所・企画部課長 荒井 泰男
社会環境研究室 大河原 透
- (5) 中小水力発電のエネルギー代替性評価 (財)電力中央研究所研究開発本部課長 辻 明宏
- (6) 省エネルギー新都市計画の社会的・経済的評価 北海道大学環境科学研究科教授 山村 悦夫
- (7) 大潟村におけるエネルギー需要構造と自然エネルギー代替の可能性 東京理科大学経営工学科教授 奥野 忠一

〔報 文〕

〔技術報告〕

定着式水素貯蔵装置の運転試験 大阪工業技術試験所第5部 鈴木 博

〔書 評〕

三菱重工業㈱横浜研究所主管 今竹 忠己

〔グループ紹介〕

千代田化工建設㈱、三洋電機㈱、鹿島建設㈱

〔会員の声〕

富岡 徹

〔技術・行政情報〕

〔会 報〕

〔年間総目次〕

〔編纂後記〕

エネルギー・資源研究会編集実行委員長、京都大学農学部教授 川村 登

目下、編集実行委員会では、会員諸氏からの「会員の声」欄への寄稿を特に強く期待いたしております。エネルギー、資源に関すること、研究会に関すること、会誌に関することなど自由な声を是非ともお聞かせ下さい。