

国際協力事業団

イラン・イスラム共和国
計画・予算庁


イラン・イスラム共和国
エネルギー計画調査
ファイナル・レポート
第2巻 メインレポート

平成6年3月

JICA LIBRARY

J 1125571 (8)

(財)日本エネルギー経済研究所

鉅調資

94-090

国際協力事業団
イラン・イスラム共和国エネルギー計画調査
ファイナル・レポート
第2巻
メインレポート

平成6年3月

(財)日本エネ

304
67
MPN

BRARY

94-090



1125571 [8]

国際協力事業団

イラン・イスラム共和国

計画・予算庁

イラン・イスラム共和国

エネルギー計画調査

ファイナル・レポート

第2巻 メインレポート

平成6年3月

(財)日本エネルギー経済研究所

イラン・イスラム共和国エネルギー計画調査

第2巻 メインレポート

内容目次

1. はじめに	
1.1 技術協力	1
1.2 作業分担	3
1.3 共同調査の報告書	3
2. 経済発展	
2.1 はじめに	5
2.2 経済発展とエネルギー輸出	7
2.3 経済発展分析モデル	14
2.4 経済発展	16
2.5 結果の要約	26
3. エネルギー需要の分析	
3.1 はじめに	27
3.2 社会・経済セクターにおけるエネルギー消費	28
3.3 エネルギー需要分析のためのモデル	43
3.4 エネルギー需要の伸び	47
4. エネルギー供給システムの発展	
4.1 はじめに	55
4.2 モデルおよび方法論	55
4.3 シナリオの構成	58
4.4 基準（REF）シナリオにおけるエネルギーの流れ	60
4.5 原油の機会費用	65
4.6 エネルギーの合理的利用の可能性	66
4.7 エネルギー部門の展開の予測	69
5. 省エネルギー	
5.1 はじめに	71
5.1.1 省エネルギーの重要性	71
5.1.2 調査の視点, 重点, および目的	71
5.1.3 調査対象分野の選定	72

5.2	エネルギー消費の現状, 省エネルギー対策, ならびに省エネルギーの技術的ポテンシャルの検討	73
5.2.1	工業部門	73
5.2.1.1	はじめに	73
5.2.1.2	セメント製造業	80
5.2.1.3	板ガラス製造業	90
5.2.1.4	砂糖製造業	96
5.2.1.5	鉄鋼業	102
5.2.2	エネルギー転換部門	114
5.2.2.1	火力発電	114
5.2.2.2	石油精製	127
5.2.3	道路輸送部門	139
5.3	省エネルギーの経済的ポテンシャルの推定	151
5.3.1	工業部門	151
5.3.2	エネルギー転換部門	159
5.3.3	工業部門およびエネルギー転換部門のまとめ	163
5.3.4	道路輸送部門	166
5.4	省エネルギー促進のためのシナリオ	168
5.4.1	省エネルギーのための政策	168
5.4.2	省エネルギーのためのシナリオ	169
6.	環境とエネルギー	
6.1	はじめに	171
6.1.1	エネルギーと環境	171
6.1.2	本調査の焦点および目的	172
6.2	イランにおける環境管理体制の現状	174
6.2.1	管轄官庁	174
6.2.2	環境保護に関する法律および規制	177
6.2.3	大気汚染物質のモニタリング	181
6.2.4	政策と計画	181
6.3	イランにおける環境の現状	185
6.3.1	大気汚染の現状	185
6.3.2	汚染物質と発生源	193
6.3.2.1	固定発生源	193
6.3.2.2	移動発生源	201

6.4	大気汚染物質および二酸化炭素の排出に関する分析	209
6.4.1	排出量のこれまでの傾向	209
6.4.2	要因分析	221
6.4.2.1	大気汚染物質	221
6.4.2.2	CO ₂	228
6.4.2.3	要因分析の要約	230
6.4.3	国際比較	233
6.5	排出予測	245
6.5.1	エネルギーバランス表にもとづく排出予測	245
6.5.2	移動発生源	252
6.6	対策と所要資金	258
6.6.1	固定発生源対策	258
6.6.1.1	クリーン燃料の供給および燃料転換	258
6.6.1.2	排ガス対策	260
6.6.2	移動発生源対策	265
6.6.2.1	都市交通システムの改善	265
6.6.2.2	自動車性能の改善	269
6.6.2.3	クリーン燃料の供給	271
6.6.2.4	クリーン燃料車の導入	272
6.7	汚染物質削減の可能性と環境改善対策の検討	275
6.7.1	本調査の主要内容	275
6.7.2	汚染物質削減の技術的可能性	276
6.7.3	環境保護対策の検討	285
7.	結 論	
7.1	本調査の要約および調査結果	289
7.2	1つの優先計画（プライオリティ・プラン）	294
7.3	アクション・プラン	296

付表一覽

5. Energy Conservation

Table 5.1	Share of Energy Consumption by Industry in I.R. Iran -----	74
Table 5.2	Energy Intensity in Various Industries in I.R. Iran -----	76
Table 5.3	Production and Import of Cement in I.R. Iran -----	81
Table 5.4	List of Cement Kilns in I.R. Iran (as of 1991) -----	82
Table 5.5	Trend of Electricity Consumption in Manufacturing Cement by Process in Japan -----	84
Table 5.6	Estimated Specific Energy Consumption in Cement Industry in I.R. Iran -----	85
Table 5.7	Analysis of Factors Decreasing the S.E.C. in the Cement Industry in Japan -----	89
Table 5.8	Demand and Supply of Sugar in I.R. Iran -----	97
Table 5.9	Specific Energy Consumption in Sugar Manufacturing Industry in I.R. Iran -----	100
Table 5.10	Demand and Supply of Steel in the I.R. Iran -----	103
Table 5.11	Specific Energy Consumption in Iron & Steel Industry in I.R. Iran -----	110
Table 5.12	Sold Energy by Consumption Sector -----	114
Table 5.13	Installed Generating Capacity of MOE -----	115
Table 5.14	Energy Generation in MOE -----	115
Table 5.15	Generation, Heat Rate and Thermal Efficiency -----	117
Table 5.16	Examples of Measures in Category 1 and their Effects in Thermal Power Generation in Japan -----	121
Table 5.17	Current Vacuum Degree in Condensers and Possible Saving of Energy in Three Power Plants Visited by the Study Team -----	123
Table 5.18	Example of Measures in Category 2 and their Effects in Thermal Power Generation in Japan -----	126
Table 5.19	Production and Consumption of Refined Products -----	127
Table 5.20	Refining Capacity -----	128
Table 5.21	Consumption Share of Power Bought and Fuel Used in Petroleum Refinery -----	131
Table 5.22	Examples of Effects of Measures for Energy Conservation in Petroleum Refining in Japan -----	135
Table 5.23	Automotive Technologies for Fuel Efficiency -----	140
Table 5.24	Driving Method for Fuel Efficiency -----	143
Table 5.25	Effects of Smooth Traffic Flow -----	145
Table 5.26	Features of Automatic Driving -----	147
Table 5.27	Comparison of Energy Efficiency of Urban Transportation Means in U.S.A. -----	148
Table 5.28	Energy Efficiency of Urban Transportation Means in Japan -----	148
Table 5.29	Examples of Investment Costs of Plants in I.R. Iran -----	154
Table 5.30	Composition of Investment Costs in Japan -----	154
Table 5.31	Examples of Investment Costs of Energy Conservation Measures in the Cement Industry in Japan -----	155

Table 5.32	The s.e.c. in Existing Cement Factories in I.R. Iran	156
Table 5.33	Forecast of Production Capacity in I.R. Iran	157
Table 5.34	Tentative Estimate of the Specific Energy Consumption in the Cement Industry in I.R. Iran (1999 and 2009)	157
Table 5.35	Examples of Investment Costs of Energy Conservation Measures in the Iron and Steel Industry in Japan	160
Table 5.36	Examples of Investment Costs of Energy Conservation Measures in Category 1 in Thermal Power Generation in Japan	161
Table 5.37	Examples of Investment Costs of Energy Conservation Measures in Category 2 in Thermal Power Generation in Japan	162
Table 5.38	Examples of Investments of Energy Conservation Measures in Category 1 in Petroleum Refining in Japan	164
Table 5.39	Examples of Investments of Energy Conservation Measures in Category 2 in Petroleum Refining in Japan	165

6. Energy and Environment

Table 6.1	Selected Ambient Air Quality Standards	178
Table 6.2 (a)	Emission Standards in Asian Countries	179
Table 6.2 (b)	EEC SO ₂ Emission Standards for Coal-Fired Plants	180
Table 6.2 (c)	EEC NO _x Emission Standards for Coal-Fired Plants	180
Table 6.3	Monthly Average Values of Selected Ambient Air Quality (1988)	189
Table 6.4	Average Ambient Air Quality of Weekdays and Thursday (1988)	189
Table 6.5	Number of Days per Year with Levels Exceeding Critical Values (1980-1984)	190
Table 6.6	Number of Days per Year with Levels Exceeding Critical Values (as of 1992)	191
Table 6.7	SO ₂ and NO ₂ Concentrations in Major Cities (Results measured by use of the Simplified Air Samplers)	192
Table 6.8	Emission Sources and Countermeasures	195
Table 6.9	Estimation of Emission Volume from Factories	198
Table 6.10	Estimation of Emission Volume from Power Plants	199
Table 6.11	Estimation of Emission Volume from Petroleum Refineries	200
Table 6.12	Vehicle Stock by Province	206
Table 6.13	Regression of Coefficients	207
Table 6.14	CO ₂ from Cement Production	220
Table 6.15 (a)	Factors Contributing to SO _x and NO _x Emission	230
Table 6.15 (b)	Factors Contributing to CO ₂ Emission	231
Table 6.16	HC Emission by Mobile Source	255
Table 6.17	Projection of Vehicle Stock by Type and Emission	256
Table 6.18	Change of Status of Tokyo, Japan	256
Table 6.19	Assumption on Status of Tehran	257
Table 6.20	Projection of Vehicle Stock by Type and Emission in Tehran City	257
Table 6.21	Pollution Abatement Cost Impact on Production Investment	259
Table 6.22	Example of Capital Investment for FGD (Coal)	261
Table 6.23	NO _x Concentration in Combustion Gas	262
Table 6.24	Investment Cost for Combustion Modification	263

Table 6.25	NO _x Control Results by Combustion Modification	263
Table 6.26	Cost of SCR for Flue Gas from Utility Boilers (250-700 MW, 80% NO _x Removal)	264
Table 6.27	Maintenance and Fuel Cost Ratio in Japan	270
Table 6.28	Emission Factors of Each Type of Vehicle	273
Table 6.29	Situation of CNG Car Usage in the World	274
Table 6.30	Assumed Improvement of Fuel in Sulphur Content	277
Table 6.31	Comparison of Energy Intensity	279
Table 6.32	The Potential Reduction of Pollutants and CO ₂	283
Table 6.33	Actual Operation Data of Power Plants in Iran (1992)	284
Table 6.34	Effects of Fuel Conversion on Pollutant Emission	285

付図一覧

1. Introduction

Figure 1.1	Structure of the Organization of Comprehensive Energy Studies (CES)	2
Figure 1.2	Division of Work between Iranian and Japanese Teams	4

2. Economic Development

Figure 2.1	Trend of Private Consumption, Total Investment, Balance of Foreign Trade & GDP (at Constant Prices of 1361)	8
Figure 2.2	GDP & Value-Added of 8 Sectors (at Constant Prices of 1361)	8
Figure 2.3	Trend of Consumption in Rural & Urban Areas, Government Expenditure & Total Final Consumption (at Constant Prices of 1361)	9
Figure 2.4	GDP, GRP, Government Expenditure, Urban & Rural Consumption (at Constant Prices of 1361)	10
Figure 2.5	Ratio of Oil Revenue to GDP (at Constant Prices of 1361)	11
Figure 2.6	Trend of Investment in Construction & Machinery and Total Investment (at Constant Prices of 1361)	12
Figure 2.7	Export, Import & Balance of Foreign Trade (at Constant Prices of 1361)	13
Figure 2.8	Import of Consumer, Intermediate and Capital Goods	13
Figure 2.9	Total & Urban Population	17
Figure 2.10	Crude Oil Price in the World Market & Domestic Cons. of Oil	17
Figure 2.11	Consumption of Electricity and Natural Gas	18
Figure 2.12	Rate of Increase of Electricity & Gas Consumption	18
Figure 2.13	Development of GDP and GDP Per Capita	19
Figure 2.14	Consumption of Urban, Rural, Government Expenditure	19
Figure 2.15	Development of Capital Stock and Investment	21
Figure 2.16	Import of Consumer, Intermediate & Capital Goods	21
Figure 2.17	Export of Non-Oil Goods	22
Figure 2.18	Shadow Price of Foreign Exchange Reserves and Oil	22
Figure 2.19	Crude Oil Price in the World Market	23
Figure 2.20	Development of GDP for Diff. Scenarios of Oil Prices	23
Figure 2.21	Scenarios of Domestic Oil Consumption	24
Figure 2.22	Shadow Prices of Crude Oil for Diff. Scenar. of Domestic Oil Con.	25
Figure 2.23	Shadow Prices of Foreign Exch. Res. for Diff. Scenar. of Domes. Oil Con.	25

3. Development of Energy Requirement

Figure 3.1	Final Energy Uses per Unit Real Exp. in Rural and Urban Hous.	28
Figure 3.2	Share of Final Energy Consumption in Rural and Urban Areas	29
Figure 3.3	Development of Final Energy Consumption in Household	29
Figure 3.4	Development of Final Energy Consumption in Urban Household	30
Figure 3.5	Development of Final Energy Consump. Per Cap. in Urban Hous.	30
Figure 3.6	Development of Final Energy Con. of a Family in Urban Areas (1361)	31
Figure 3.7	Development of Final Energy Con. of a Family in Urban Areas (1363)	31

Figure 3.8	Development of Final Energy Con. of a Family in Urban Areas (1366) - - - -	31
Figure 3.9	Development of Final Energy Con. of a Family in Urban Areas (1361) - - - -	31
Figure 3.10	Development of Final Energy Con. of a Family in Rural Areas (1361) - - - -	32
Figure 3.11	Development of Final Energy Con. of a Family in Rural Areas (1363) - - - -	32
Figure 3.12	Development of Final Energy Con. of a Family in Rural Areas (1366) - - - -	32
Figure 3.13	Development of Final Energy Con. of a Family in Rural Areas (1369) - - - -	32
Figure 3.14	Development of Useful Energy Con. of a Family in Urban Areas (1361) - - - -	34
Figure 3.15	Development of Useful Energy Con. of a Family in Urban Areas (1363) - - - -	34
Figure 3.16	Development of Useful Energy Con. of a Family in Urban Areas (1366) - - - -	34
Figure 3.17	Development of Useful Energy Con. of a Family in Urban Areas (1369) - - - -	34
Figure 3.18	Development of Useful Energy Con. of a Family in Rural Areas (1361) - - - -	35
Figure 3.19	Development of Useful Energy Con. of a Family in Rural Areas (1363) - - - -	35
Figure 3.20	Development of Useful Energy Con. of a Family in Rural Areas (1366) - - - -	35
Figure 3.21	Development of Useful Energy Con. of a Family in Rural Areas (1369) - - - -	35
Figure 3.22	Value-added of Industry and GDP in Constant Prices of 1361 - - - - -	36
Figure 3.23	Share of Ind. Value-added in GDP and GRP at Constant prices (1361) - - - -	36
Figure 3.24	Energy Consumption in Total of Large Industry - - - - -	37
Figure 3.25	Share of Industry in Energy Consumption - - - - -	37
Figure 3.26	Share of Energy Carriers in Energy Consumption of Industry - - - - -	38
Figure 3.27	Share of Major Sub-sectors in the Energy Consumption of Industry - - - - -	39
Figure 3.28	Energy Intensity, VA, and Capacity Factor in Total Industry - - - - -	39
Figure 3.29	Value-added of Transport Sectors Fixed Prices of 1361 - - - - -	40
Figure 3.30	Activity Level of Passenger Transport Modes - - - - -	41
Figure 3.31	Activity of Modes in Freight Transportation - - - - -	41
Figure 3.32	Fuel Consumption in Rail and Road Transportation - - - - -	42
Figure 3.33	Final Energy Intensity in Passenger Transportation Modes - - - - -	44
Figure 3.34	Final Energy Intensity in Transportation Sectors - - - - -	44
Figure 3.35	Structure of Model MADE-II - - - - -	46
Figure 3.36	Development of Share of Exp. Group in Urban Pop. - - - - -	48
Figure 3.37	Development of Share of Exp. Group in Rural Pop. - - - - -	48
Figure 3.38	Development of Real Exp. of Urban & Rural Households - - - - -	49
Figure 3.39	Development of Demand for Useful Energy in Rural House - - - - -	49
Figure 3.40	Development of Demand for Useful Energy in Urban House - - - - -	50
Figure 3.41	Development of Demand for Useful Energy in Industry - - - - -	51
Figure 3.42	Development of Demand for Useful Energy of UP -Trans. - - - - -	52
Figure 3.43	Development of Demand for Useful Energy of IP -Trans. - - - - -	52
Figure 3.44	Development of Demand for Useful Freight Trans. - - - - -	53

4. Development of Energy Supply System

Figure 4.1	Representation of Energy Supply System in Model MESSAGE-II - - - - -	57
Figure 4.2	Structure of Scenarios of Energy Supply - - - - -	59
Figure 4.3	Production of Petroleum Products - - - - -	61
Figure 4.4	Fuel Consumption of Thermal Power Plants - - - - -	61
Figure 4.5	Share of Sectors in Final Energy Consumption - - - - -	63
Figure 4.6	Emission of Pollutants in I.R. Iran - - - - -	63
Figure 4.7	Consumption of Energy Carriers in Household of I.R. Iran - - - - -	67
Figure 4.8	Consumption of Energy Carriers in Industry of I.R. Iran - - - - -	68

5. Energy Conservation

Figure 5.1	Example of Category 3	78
Figure 5.2	Fuel Consumption of Kilns	78
Figure 5.3	Cement Production Flow Sheet	83
Figure 5.4	Production Process of Sheet Glass	91
Figure 5.5	Various Processes for Manufacturing Sheet Glass	93
Figure 5.6	Trend of Fuel Oil Consumption for Manufacturing Sheet Glass in Japan	95
Figure 5.7	Production Process of Beet Sugar	99
Figure 5.8	Typical Blast Furnace Process in Japan	105
Figure 5.9	Energy Flow in Isfahan Steel Mill	106
Figure 5.10	Ahwaz Steel Complex	108
Figure 5.11	MIDREX Process Energy Balance	109
Figure 5.12	The Thermal Account of Steam Power Generation	116
Figure 5.13	Balance of Electric Energy in 1991	118
Figure 5.14	Changes in Fuel Loss due to Changes of 1 mm Hg in Vacuum Degree by Turbine Capacity	124
Figure 5.15	Transition of Fuel Consumption of Gasoline Car	139
Figure 5.16	Transition of Fuel Consumption of Diesel Engine for Automobiles	141
Figure 5.17	Relations between Energy and Automobiles	142
Figure 5.18	Relations between Fuel Consumption and Average Speed	144
Figure 5.19	The Model for Estimating Economic Potential of Energy Conservation	152
Figure 5.20	Fuel Consumption of Passenger Cars in Japan	167

6. Energy and Environment

Figure 6.1	Organizational Chart of Environmental Protection Organization	175
Figure 6.2	Typical Organizational Chart of Local Office of Environmental Protection Organization	176
Figure 6.3 (a)	SO _x Concentration in Tehran (Annual Averages)	186
Figure 6.3 (b)	SPM Concentration in Tehran (Annual Averages)	186
Figure 6.3 (c)	Smoke Concentration in Tehran (Annual Averages)	187
Figure 6.3 (d)	Pb Concentration in Tehran (Annual Averages)	187
Figure 6.4	Vehicle Stock in I.R. Iran	204
Figure 6.5	Correlation between Vehicle Stock and DID Population in Japan	207
Figure 6.6	Energy Consumption by Sector; I.R. Iran	210
Figure 6.7	Energy Consumption by Fuel; I.R. Iran	210
Figure 6.8	SO _x Emission by Sector; I.R. Iran	212
Figure 6.9	NO _x Emission by Sector; I.R. Iran	212
Figure 6.10	CO ₂ Emission by Sector; I.R. Iran	213
Figure 6.11	SO _x Emission by Fuel; I.R. Iran	214
Figure 6.12	NO _x Emission by Fuel; I.R. Iran	215
Figure 6.13	CO ₂ Emission by Fuel; I.R. Iran	216
Figure 6.14	Flared Gas vs Energy Consumption / I.R. Iran	216
Figure 6.15	SO _x Emission from Flared Natural Gas and Others Sources / I.R. Iran	218
Figure 6.16	NO _x Emission from Flared Natural Gas and Others Sources / I.R. Iran	218
Figure 6.17	CO ₂ Emission from Flared Natural Gas and Others Sources / I.R. Iran	219

Figure 6.18	CO ₂ Emission from Various Sources / I.R. Iran	220
Figure 6.19	Factor Changes in SO _x Emission; TOTAL	223
Figure 6.20	Factor Changes in SO _x Emission; Petroleum	223
Figure 6.21	Factor Changes in SO _x Emission; Gas	224
Figure 6.22	Factor Changes in SO _x Emission; / JAPAN	224
Figure 6.23	Factor Changes in NO _x Emission; TOTAL	226
Figure 6.24	Factor Changes in NO _x Emission; Petroleum	226
Figure 6.25	Factor Changes in NO _x Emission; Gas	227
Figure 6.26	Factor Changes in NO _x Emission; / JAPAN	227
Figure 6.27	Factor Changes in CO ₂ Emission; / I.R. Iran	229
Figure 6.28	Factor Changes in CO ₂ Emission; / JAPAN	229
Figure 6.29 (a)	Factor Changes in CO ₂ Emission; / JAPAN	232
Figure 6.29 (b)	CO ₂ Emission by Sector / JAPAN	232
Figure 6.30	SO _x Emission - Primary Energy Requirement	234
Figure 6.31	NO _x Emission - Primary Energy Requirement	234
Figure 6.32	CO ₂ Emission - Primary Energy Requirement	234
Figure 6.33	SO _x Emission vs. Primary Energy Requirement	236
Figure 6.34	NO _x Emission vs. Primary Energy Requirement	237
Figure 6.35 (a)	CO ₂ Emission vs. Primary Energy Requirement	238
Figure 6.35 (b)	CO ₂ Emission vs. Primary Energy Requirement (Excludes Vegetative Fuel)	239
Figure 6.36	SO _x / GDP: GDP / Capita	240
Figure 6.37	NO _x / GDP: GDP / Capita	242
Figure 6.38 (a)	CO ₂ / GDP: GDP / Capita	243
Figure 6.38 (b)	CO ₂ / GDP: GDP / Capita (Excludes Vegetative Fuel)	244
Figure 6.39	Final Energy Demand by Sector; with Forecast to 2021	246
Figure 6.40	Final Energy Demand by Fuel; with Forecast to 2021	246
Figure 6.41	SO _x Emission by Sector with Forecast to 2021; I.R. Iran	247
Figure 6.42	NO _x Emission by Sector with Forecast to 2021; I.R. Iran	247
Figure 6.43	CO ₂ Emission by Sector with Forecast to 2021; I.R. Iran	249
Figure 6.44	SO _x Emission by Fuel; I.R. Iran	250
Figure 6.45	NO _x Emission by Fuel; I.R. Iran	251
Figure 6.46	CO ₂ Emission by Fuel; I.R. Iran	252
Figure 6.47	Growth of Population, GDP and Vehicles in Japan	253
Figure 6.48	Growth of Population, GDP and Vehicles in I.R. Iran	253
Figure 6.49	Petroleum Refining Plant Cost	258
Figure 6.50	FGD Plant Cost	261
Figure 6.51	Cost Comparison of NO _x Control Techniques Applied to Boilers	263
Figure 6.52	Cost Comparison of SO _x and NO _x Removal Technology	264
Figure 6.53 (a)	Trend of Energy Intensity; I.R. Iran	278
Figure 6.53 (b)	Trend of Energy Intensity; JAPAN	278
Figure 6.54	Potential in Reduction of SO _x Emission; I.R. Iran 1990	280
Figure 6.55	Potential in Reduction of NO _x Emission; I.R. Iran 1990	282
Figure 6.56	Potential in Reduction of CO ₂ Emission; I.R. Iran 1990	282

1. はじめに

イラン・イスラム共和国では、エネルギー効率の向上のために、斉合性のある総合的エネルギー政策を策定することが、もっとも重要なエネルギー問題とみなされている。このような政策の主な目的として、社会的な開発と環境に調和する効率的、経済的、且つ、信頼しうるエネルギー供給システムの構築があげられる。この目的を達成させるために、イランの計画・予算庁（PBO）が「総合エネルギー開発計画」の策定を決定した。

この調査の最終目標は、長期にわたるエネルギー戦略のために合理的で科学的な基盤と情報を整備することである。

計画・予算庁は1992年11月、この「総合エネルギー開発計画」の調査プロジェクトを実行するにあたってイランの計画・開発研究所（IRPD）を任命し、同調査はイランのシャリフ工科大学（SUT）との共同作業として計画・開発研究所内で行われている。この総合エネルギー調査の組織形態はプロジェクトの管轄下に組織されている5つの作業グループから成っている。この「総合エネルギー開発計画」の組織の概要を図1.1に示す。また、主な調査テーマを以下に示す。

- a) エネルギー・データ・ベースの開発
- b) 経済発展分析
- c) エネルギー需要分析
- d) エネルギー供給システム分析
- e) エネルギー市場のレビュー

1.1 技術協力

この「総合エネルギー開発計画」調査を計画する段階において、専門家グループの活動をサポートするための技術協力を計画・予算庁が日本政府に要請した。日本政府はイラン・イスラム共和国政府の要請に応じ、このエネルギー調査協力に同意した。この同意に従い、調査は相互の調査分担を基盤としてイランの計画・予算庁と日本の国際協力事業団との間で共同で進められることになった。

国際協力事業団は1992年2月に日本側の調査を(株)日本エネルギー経済研究所（IEEJ）に委託した。そこで、日本エネルギー経済研究所はイランの計画・開発研究所のカウンターパートとして調査を進めた。

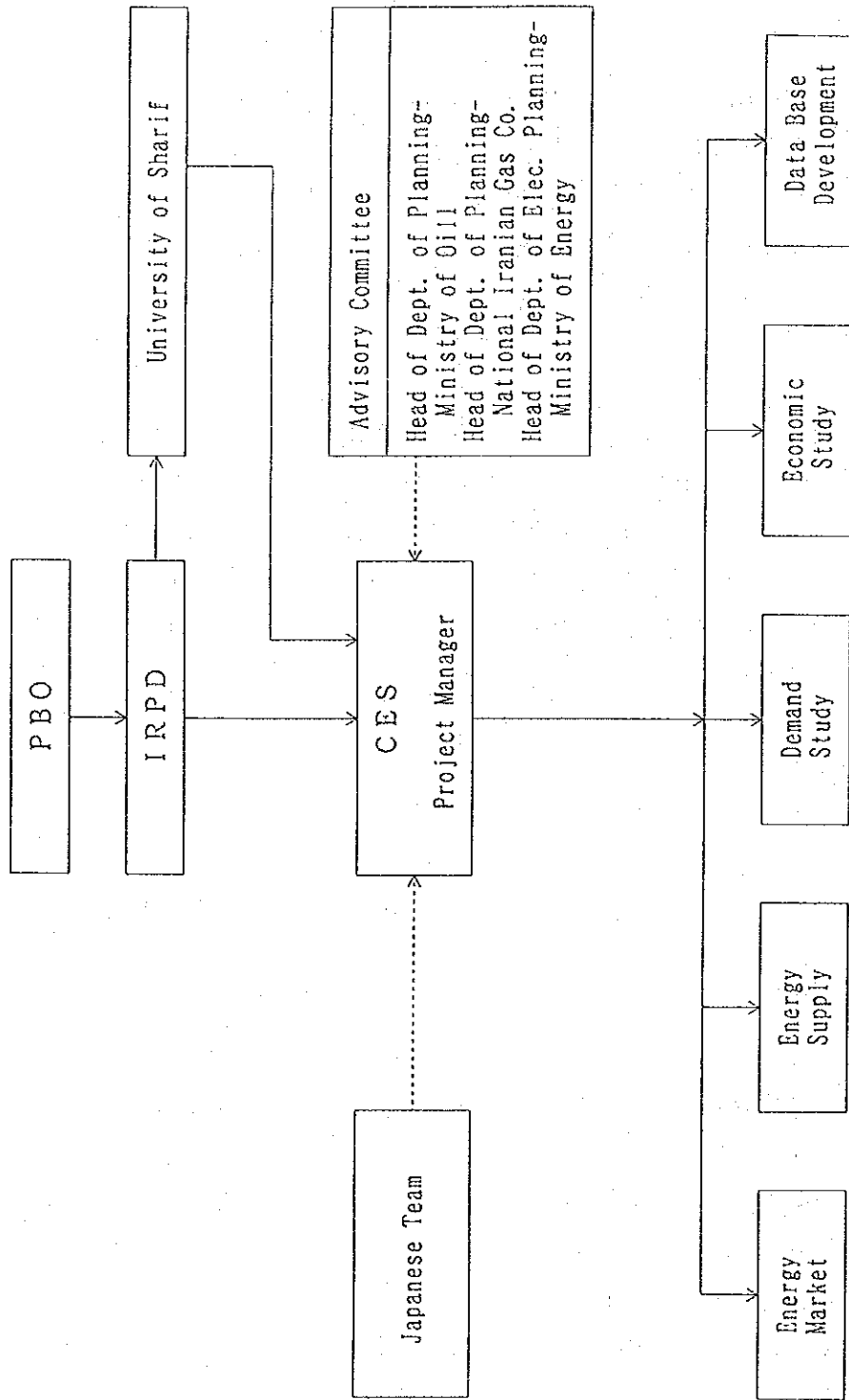


Fig. 1.1 Structure of the Organization of Comprehensive Energy Studies (CES)

1.2 作業分担

この「総合エネルギー開発計画」の共同作業は双方の作業分担に従って組織されている（図1.2参照）。この作業分担によればイラン側専門家チームは主に次の点に責任を持つ：

- a) エネルギー・データ・ベースの開発
- b) 経済発展分析
- c) エネルギー需要分析
- d) エネルギー供給システム分析
- e) エネルギー市場のレビュー

日本側専門家チームは次の点について責任を持つ：

- f) 省エネルギー
- g) エネルギーと環境の相互作用
- h) 省エネルギーと環境部門におけるイラン専門家の研修

1.3 共同調査の報告書

イラン及び日本側専門家チームは共同で調査を進めレポートを作成する事になり、以下に示す6つのレポートが現在の技術協力の中で作成された。

a) インセプション・レポート（IR）

1992年3月に作成されたインセプション・レポートは共同のフレームワークの概要と基本的な取り組み方法を記載している。

b) プロGRESS・レポート1（PR/1）

PROGRESS・レポート1は1993年3月に作成され、この調査の最初のステージでの調査結果が記述された。

c) プロGRESS・レポート2（PR/2）

共同作業の第2フェーズの調査経過がPROGRESS・レポート2に記載されている。PR/2は1993年8月に作成された。

d) インテリム・レポート

インテリム・レポートはPROGRESS・レポート2の後に作成され、予備的なまとめと提言が含まれる。

e) ドラフト・ファイナル・レポート

共同作業の結果とまとめがドラフト・ファイナル・レポートに要約された。

f) ファイナル・レポート

ファイナル・レポートがこの共同作業の最終的成果物となる。

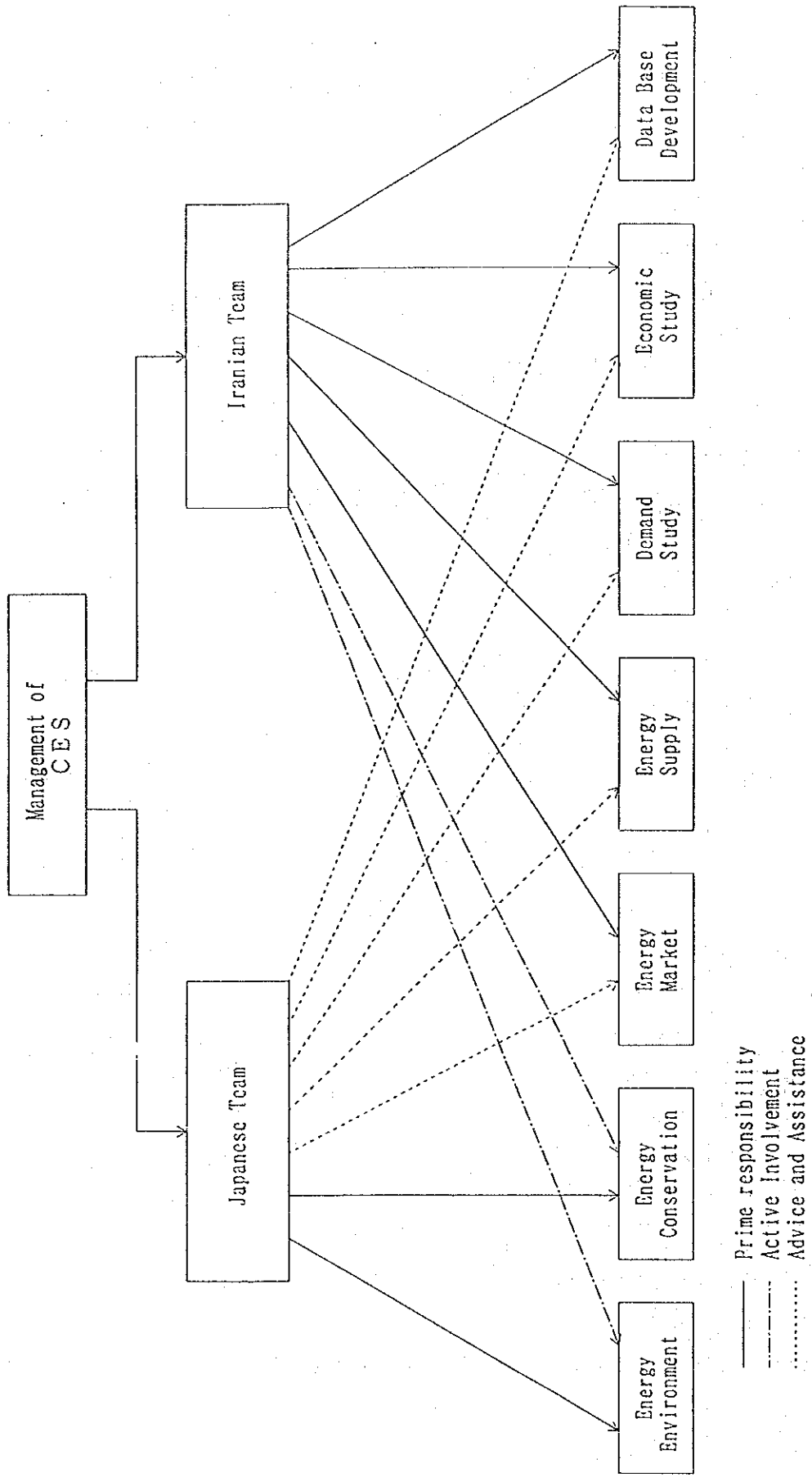


Fig. 1.2 Division of Work between Iranian and Japanese teams

2. 経済発展

2.1 はじめに

イラン・イスラム共和国の経済的発展は、エネルギー資源の輸出と世界のエネルギー市場の変動に依存している。エネルギー資源の輸出は外貨収入の重要な財源であり、石油収入は政府歳入のかなりの部分を占めている。

経済の発展にともなって、生産過程の変化、生産技術の変化、国民の生活水準の変化がもたらされる。社会・経済システムの構造上の変化によって、生産過程の機械化がおこなわれ、それによって労働生産性が向上する。このような変化によって、経済・社会セクターにおけるエネルギー・インテンシティが高まることになる。

過去30年間にわたって、エネルギーセクターと経済発展との相互作用が非常に盛んにみられたが、その結果、経済の持続的発展を実現するためには、おもだったエネルギー経済問題が解決できるかどうか鍵となっている。イラン・イスラム共和国におけるエネルギー経済上の重要な課題を要約すると、以下のようなになるであろう。

(1) 世界のエネルギー市場動向の影響

国際的エネルギー市場の変化によって、世界のエネルギー需要と価格が変動し、経済システムの発展に大きな影響を及ぼすこととなる。世界のエネルギー需要の変化によって、エネルギー資源の輸出が増大する。一方、石油価格が低下することによって、エネルギー収益の利幅が減少することになる。エネルギー資源の輸出量とその価格が変化すると、国家の外国為替収入に影響し、ひいては消費財や資本財の輸入にも多大の影響が出てくる。資本と中間財の輸入が減少すれば、経済セクターの活動が鈍ることになる。それによって国内市場における製品の生産活動が阻害されることになる。

(2) 石油収益に対する経済成長の依存性

外国為替収入と政府予算が石油輸出の伸びと有限な化石エネルギー資源に依存していることは、エネルギーセクターの重要な問題となっている。経済が発展し、国民の生活水準が向上するにつれて、エネルギーの国内消費が増加し、石油埋蔵量のかなりの部分を国内で使用する必要がでてくる。経済成長が石油収入に依存しているため、石油の輸出は、外貨の需要が満たされるような形で増加することとなる。そして現状における他の問題として、石油埋蔵量に限りがあるということがあげられる。国内でエネルギーを消費することと、外国為替による収入源として化石エネルギー資源を輸出することとの間には、石油埋蔵量の減少と相

俟って、激しい競合関係が存在する。そこで、地下の石油のシャドウ・プライス（潜在価格）が上昇する。有限なエネルギー資源を経済発展の過程の中でどのように最適な形で配分するかということと、枯渇するおそれのあるエネルギー資源のシャドウ・プライスを推定するということが、イラン・イスラム共和国の重要なエネルギー問題であると考えられる。

(3) 社会的・経済的な発展がエネルギーセクターに及ぼす影響

エネルギーと経済との相互作用の重要な一面として、社会経済セクターにおけるエネルギー需要の伸びがあげられる。エネルギー需要の決定要因としては、生産力の向上、経済構造の変化、各家庭の生活水準の向上等があげられる。社会経済セクターにおけるエネルギー需要を詳細に分析するためには、これらセクターの生産水準と生産割合の発展に関するデータが全体として把握できていなければならない。このような情報は、有限の自然資源を経済発展の過程においてどのように配分するかという分析をおこなうことによって、かなりの精度で入手することができる。有限なエネルギー資源を国内消費と輸出用とに、どのように配分するかということが非常に重要になってくる。そのためにエネルギー資源の活用が、経済発展の枠組みの中で研究されねばならない。そのような研究の目的は、持続的な発展のために必要なエネルギー資源の輸出、経済成長、経済構造の変化、有限なエネルギー資源のシャドウ・プライスといったことに関して、情報を提供することにある。この目的を達成するために、総合的なエネルギー開発研究の過程で、「有限エネルギー資源の最適利用」モデルが作成された。

このモデルは、総合的エネルギー研究のための一連のエネルギーモデルの中に含まれているものであるが、一連のエネルギーモデルの中に、「有限エネルギー資源の最適利用」に関するマクロ経済モデルが含まれたことにより、以下のような事が可能となる。

- a) 化石エネルギー資源を国内消費と輸出とに配分する際に、どのようにしたら最適化がはかれるかという評価が可能となる。
- b) マクロ経済モデルによって、経済成長の動向と経済システムの構造上の変化を評価することが可能となる。
- c) マクロ経済モデルが開発されたことにより、有限なエネルギー資源のシャドウ・プライスの動向を算定する手段が与えられ、エネルギー資源配分の最適化を勘案するためのマクロ経済モデルが、経済成長を研究するために利用されることとなる。

このモデルの適用状況と、それによるもっとも重要な結果が報告されている。本レポートでは、経済成長とエネルギー資源の輸出が検討されているが、ここでは国内総生産(GDP)に関する生産と支出との伸びが要約されている。その後で、当該モデルの簡単な説明がおこなわれ、最後にマクロ経済における発展のおもな分析結果が提示される。

2.2 経済発展とエネルギー輸出

2.2.1 生産、消費、投資の動向

経済成長にともなって、1959年から1978年にかけて生産レベルが徐々に高まり、国内総生産も、1982年の恒常価格で表した場合に、1959年の年間2,000Mrdから、イラン革命前年には、年間11,000Mrdにまで増加した（図2.1参照）。この間の外国貿易収支は黒字基調で推移し、これによって国内総生産が伸張した。外国貿易の黒字は、おもに石油収入によるものであり、これは石油価格の上昇と輸出レベルの伸びに起因している。

1979年のイラン革命以後は、国内総生産の動向が変化し、頻繁な上下の変動が見られるようになった。大きな政治的变化とイラン・イラク戦争の影響のほかに、国民一人当りの国内総生産が減少した理由として、石油輸出の減少と国際的エネルギー市場における石油価格の低下があげられる。革命後の政府の方針は、エネルギー資源の輸出を減らし、生産割当に関するOPECでの合意事項を遵守する方向になっている。国内総生産のほとんどは個人消費によって占められており、個人消費の総額は1959年の年間1,900Mrdリアルから、1977年には7,500Mrdリアルにまで伸びた。過去10年間の個人消費は、国民総生産の動向に追随する形で変化してきている。

1959年から1973年までの間、国民総生産における投資の割合は（恒常価格で）、5%から10%という低いレベルにとどまっていたが、その後、投資レベルは増大し、国民総生産の15%から30%台で変動している。ここであきらかなことは、石油収入の増加が、投資レベルに反映しているということである。

2.2.2 生産セクター

経済セクターの国内総生産に対する割合は、過去30年間でかなりの変動を示している（図2.2参照）。国内総生産における産業の割合は1959年の①%から1977年には8.3%へと上昇し、以後8~13%レベルで推移している。経済システムの中で特徴的なのは、国内総生産における石油セクターの割合が高いということである。国内総生産における石油の占める割合は1959年では②%であったが、1977年には31.5%にまで伸びている。国内総生産における石油の割合の急激な伸びは、世界のエネルギー市場の石油価格の上昇に起因するものであった。1979年のイラン革命後、国内総生産における石油の割合は1981年の9.0%、1990年の17.9%へと減少した。

過去10年間の経済成長の特徴は、国内総生産における農業の割合が1981年の18.8%、1990年の23.4%と伸びてきたことである。この期間においては、農業生産が国内総生産の成長に大きく貢献している。図2.2に示された歴史的な観測から判断すると、1977年から1990年までの国

Fig. 2.1: Trend of Private Consumption, Total Investment, Balance of foreign Trade & GDP (at Constant Prices of 1361)

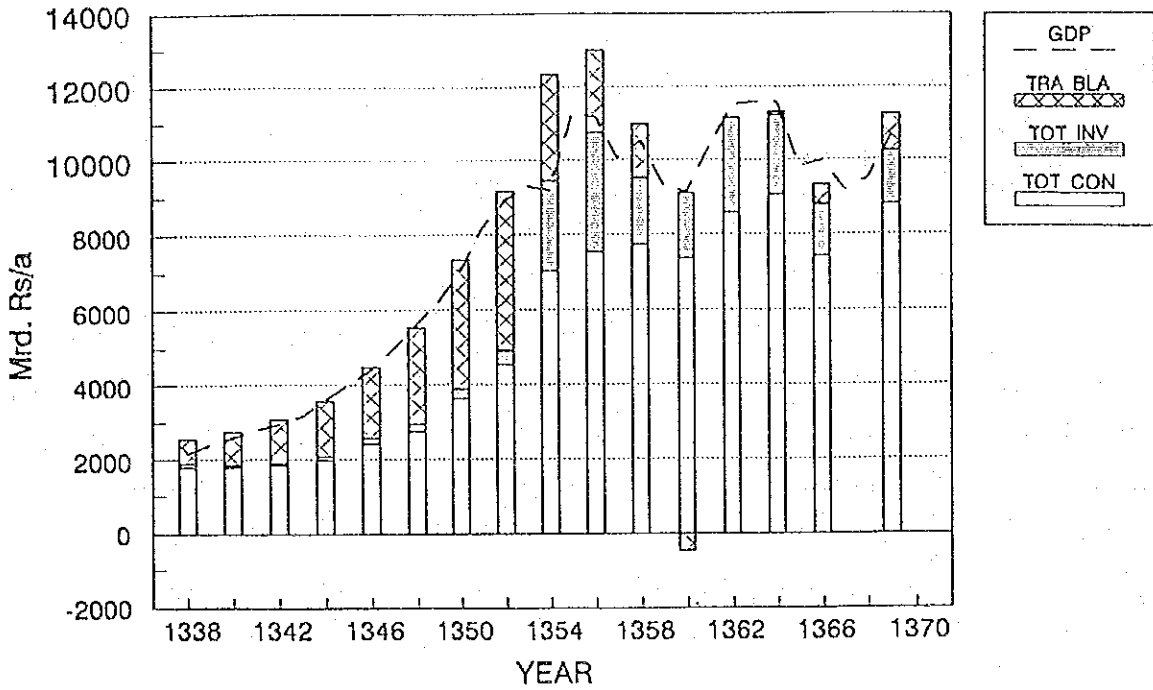
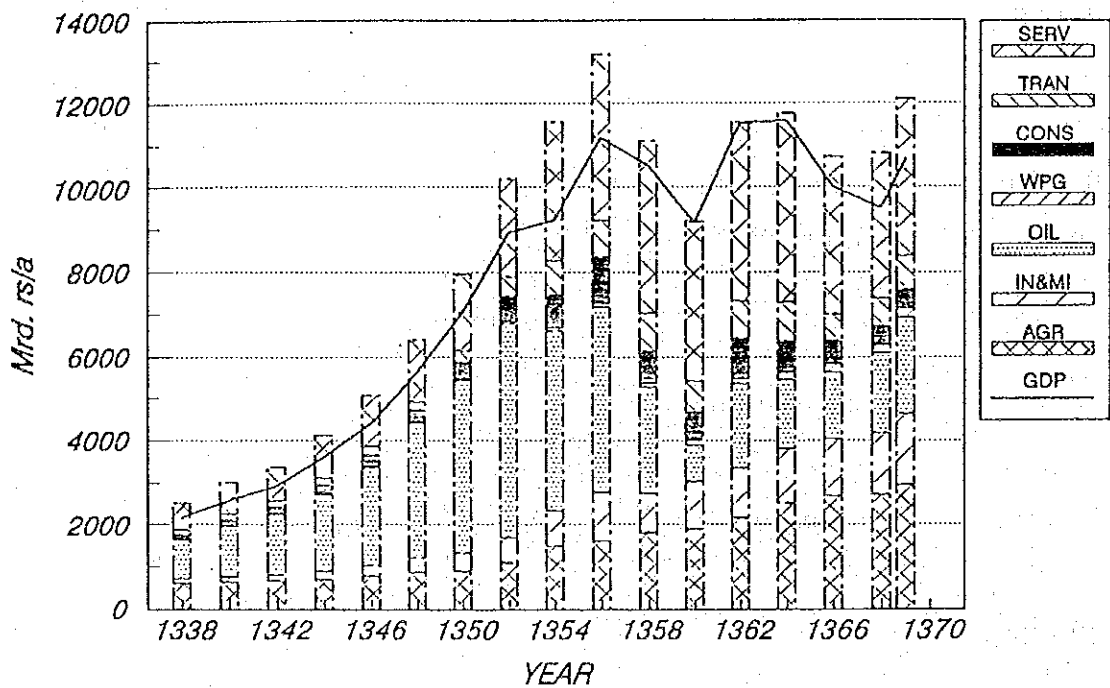


Fig. 2.2: GDP & Value Added of 8 Sectors (at Constant Prices of 1361)

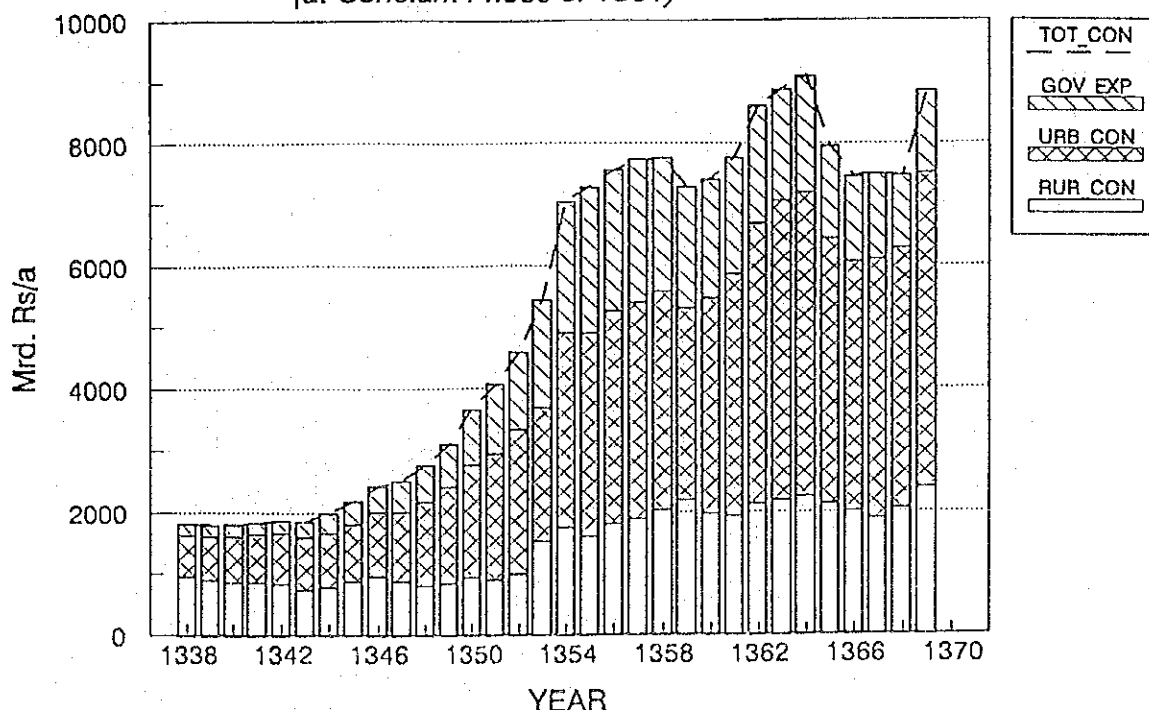


内総生産の動向は、石油セクターの動きの変化によってかなり影響されていることがあきらかである。1981年においては石油セクターの付加価値の低さが国内総生産の減少をもたらし、1983年、1984年にこれが回復したことは、その間の石油収入の増加によるものである。1985年から1989年までの国内総生産の沈滞は、イラン・イラク戦争の激化によるものである。

2.2.3 生産と消費

都市部における個人消費は、1959年の年間677.2Mrdリアルから、1977年には3,449.5Mrdリアルにまで伸びた（図2.3参照）。都市部における個人消費は過去10年間増加傾向にあり、1990年には5,128.9Mrdリアルに達した。地方の個人消費の変化はきわめてゆるやかで、1959年から1973年の間はほとんど変化をみせず、その後緩やかな上昇を始めて1985年には年間2,252.4Mrdリアルにまで達した。1990年の時点で総人口の40%を占める地方世帯の消費は、個人消費全体の30%にとどまった。

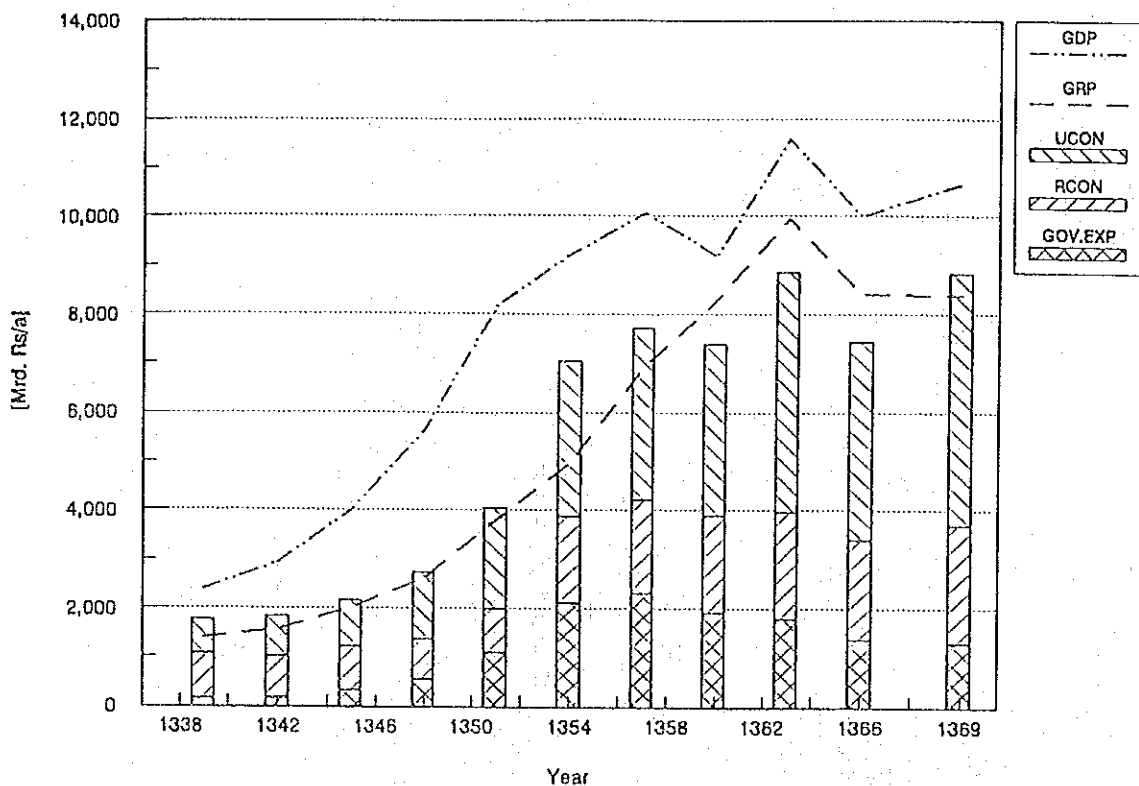
Fig. 2.3: Trend of Consumption in Rural & Urban Areas, Government Expenditure & Total Final Consumption (at Constant Prices of 1361)



政府の歳出は、1959年の年間173.5Mrdリアルから1976年には2,379.4Mrdリアルにまで上昇した。石油収入の割合が高かった1973年から1985までの期間では、政府の歳出が総支出のかなりの部分を占めることとなった。そこで石油収入が減少すると、政府歳出も伸び悩みを示した。総支出と国内総生産とを比較してみると、国内総生産における消費の割合がかなり増加して

きていることがわかる。この経済的特徴は、経済成長そのものにもきわめて大きな影響を及ぼすものである。国内総生産と石油セクターの付加価値との差は、国内消費と輸入用の商品を生産する経済の生産セクターによって生み出される国内総生産をあらわす。石油セクター以外の付加価値を地域総生産（GRP）としてあらわした場合、総支出、すなわち民間と公共両者の支出の合計が、地域総生産とほぼ同じになることがわかる（図2.4参照）。経済セクターの正味生産高が消費し尽くされ、生産プロセスの拡大にほとんどつながってゆかないということが示されている。言い換えれば、過去30年間の投資と資本蓄積は石油収入を基礎としているということである。全体としてみれば、経済セクターはみずからの成長を支えることができていなかった、といえるであろう。

Fig. 2.4: GDP, GRP, Government Expenditure, Urban & Rural Consumption (at Constant Price of 1361)

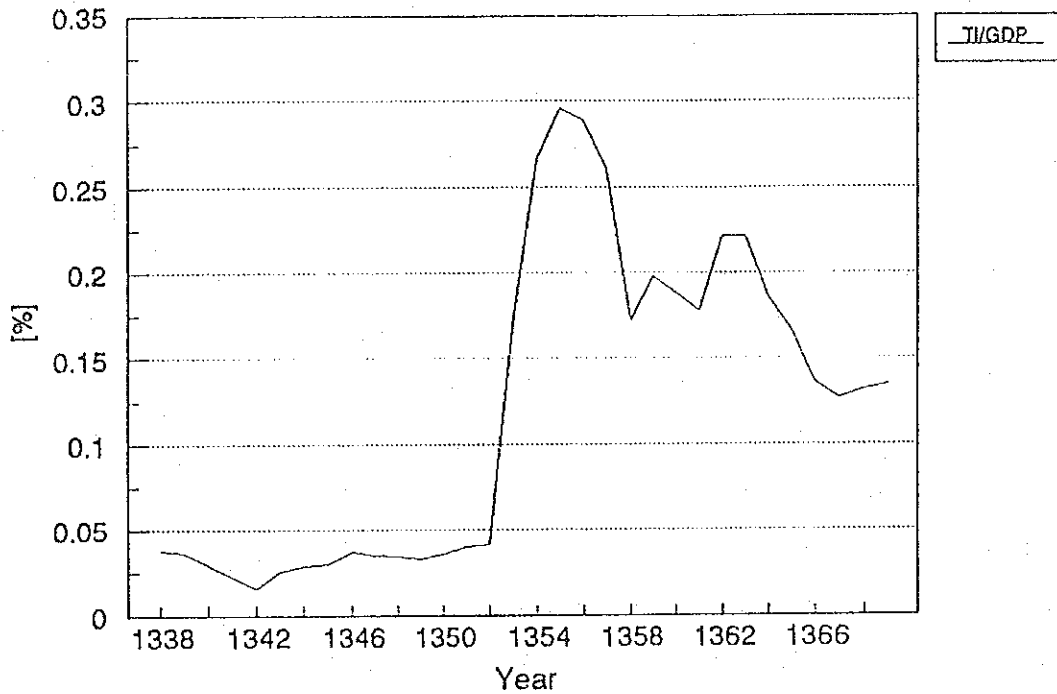


経済を持続的に発展させるためには、さまざまなセクターの生産力が上昇し、生産の一部が資本形成にあてられることが必要である。これが、現在の生活水準を維持しつつ達成されるためには、生産ファクターの効率化、生産効率の改善、消費パターンの最適化等が必要とされる。

2.2.4 投資

国内総生産における投資の割合は、1976年に30%という最高値を記録した。このとき石油の輸出は過去30年間の最高になっていた（図2.5参照）。

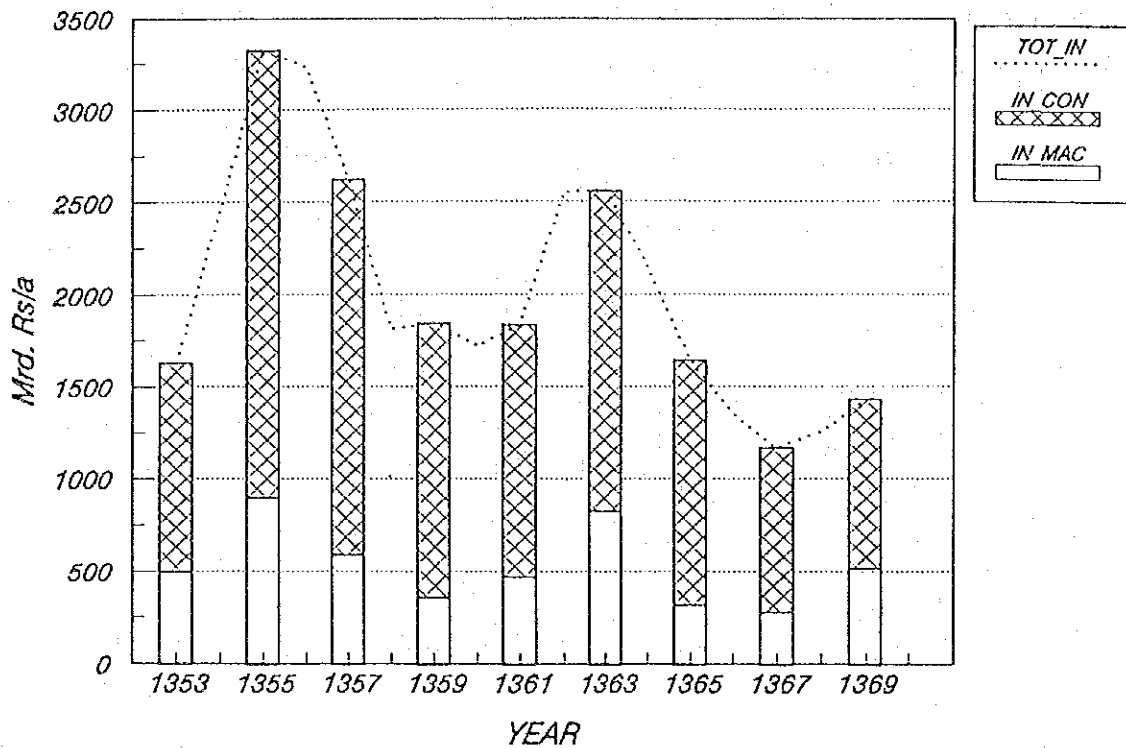
Fig. 2.5: Ratio of Oil Revenue to GDP (at Constant Prices of 1361)



しかしこの投資の割合は、1990年には15%以下にまで全体的に落ち込み、過去の15年間では、国際市場におけるエネルギー価格が上昇し石油収入が増大した1983年に、局部的に22%の最高値となった。投資全体の国内総生産に占める割合の動向によってあきらかになることは、エネルギー資源の輸出が資本蓄積に大きく影響し、成長の原動力となってきたということである。

投資全体をその要素に分けてみると、建設業に対する投資が全体のかなりの部分を占めていることがわかる（図2.6参照）。1976年の建設業への投資は全体の72.8%で、その後はこの高レベルを維持している。

Fig. 2.6: Trend of Investment in Construction & Machinery and Total Investment (at Constant Prices of 1361)

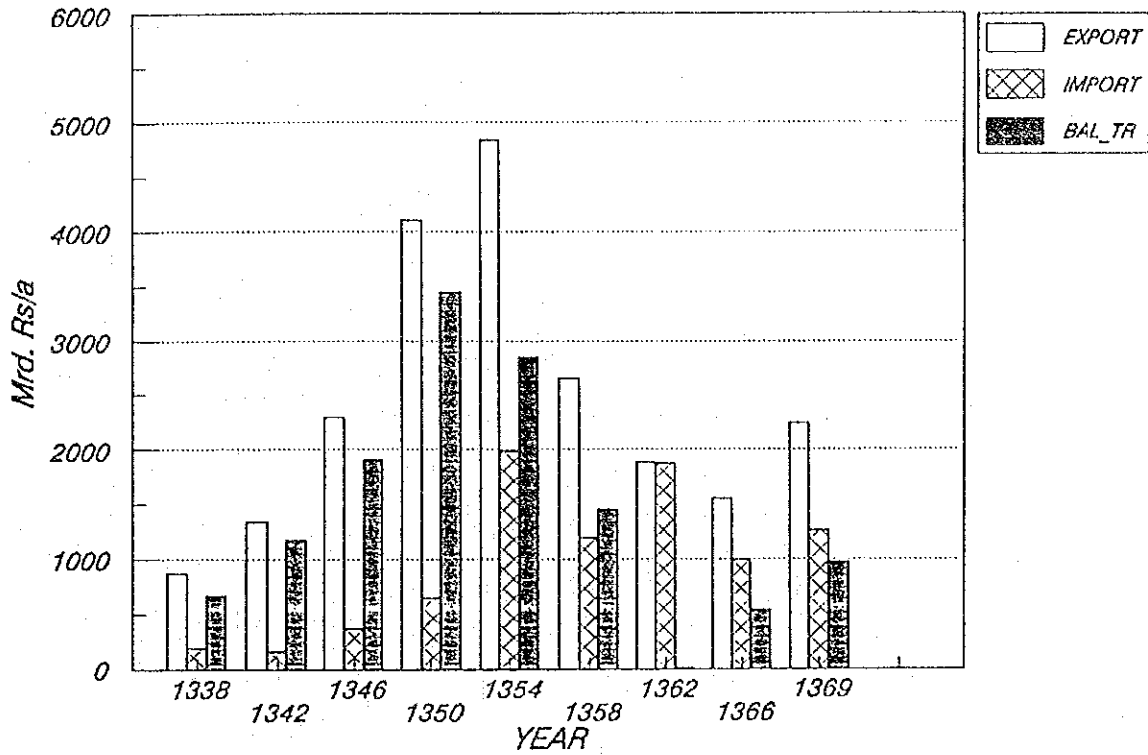


2.2.5 外国貿易

過去30年間の貿易収支はおおむね黒字基調で推移してきた（図2.7参照）。これは石油収入の急速な上昇によるものであり、国際エネルギー市場におけるエネルギー資源価格の上昇によって生じたものである。石油収入が減少したことにより、過去10年間では外国貿易による黒字幅が縮小してきている。

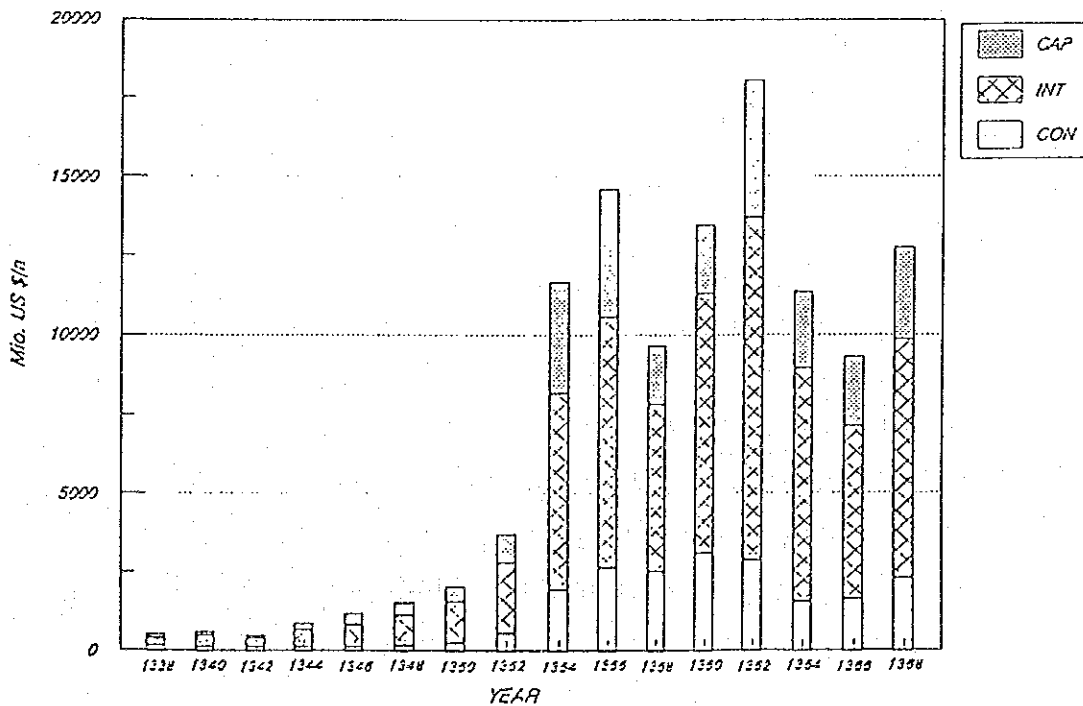
1975年から1989年にかけて、外国為替準備高が増大し、輸入品の需要が急激に増えることとなった（図2.8参照）。輸入品目の内訳をしてみると、中間財の輸入が外国貿易の大きな要素となっていることがあきらかである。

Fig. 2.7: Export, Import & Balance Foreign Trade
(at Constant Price of 1361)



この状況が表しているのは、半面で経済の生産セクターが国際市場に大きく依存し、世界経済の変動はこの国の経済成長に多大の影響を及ぼすということである。

Fig. 2.8: Import of Consumer, Intermediate and Capital Goods



2.3 経済発展分析モデル

2.3.1 経済問題

前節において経済成長を概観してみたが、これによって経済成長は石油収入にかなり依存していることがあきらかとなった。生産活動を維持するためには、中間財の入手が必要である。そしてほとんどの中間財は輸入に頼っている。過去30年にわたって、生産力の拡張は、エネルギー資源の輸出による収入によって支えられてきた。経済セクター以外の収入源が存在するという状況の下で、生産過程における構造的あるいは技術的変化が可能になっている。この意味でエネルギー資源の輸出は、経済成長の重要な原動力となっている。持続的成長を維持するために、そして経済の石油輸出に対する依存度を減少するために、収入をどのようにに有効利用してゆくかが、経済成長の重要な課題であるといえる。

石油はエネルギー資源であり、国内のエネルギー消費に使われるが、同時に経済成長を維持してゆくためには、これを輸出する必要がある。エネルギー消費の増加は石油の輸出とあいまって、エネルギー埋蔵量の急速な減少をもたらしている。その結果、有限資源のシャドウ・プライスが上昇する。エネルギーのシャドウ・プライスは、当該資源が希少であることをあらわしており、経済成長には石油と天然ガスとの利用の最適化が重要な課題となっていることを示している。エネルギー資源のシャドウ・プライスは、石油と天然ガスをどのように国内消費と輸出とに配分するのがもっとも適切であるかということに関する情報を提供するものである。それゆえにエネルギー資源のシャドウ・プライスの推定は、エネルギー計画の上での最重要の課題であるといえる。

2.3.2 モデルの概要

エネルギー資源利用の最適化を探るために、マクロ経済モデルが開発された。マクロ経済モデルは、最適管理方式にもとづき、主要経済指標の発展の道筋がどのようにしたら最適化できるかということのみきわめるのに役立つものである。

人口の増加とその都市部と地方との分布状況は、このモデルの外生的パラメータとなっている。人口増加に基づいて、労働力の供給状況が算定される。個人消費は、都市部と地方とに分けられ、計画期間においてどのように極大化するかが検討される。個人消費の極大化によって、財貨に対する最終需要が生み出される。

財貨の最終需要は、一部は国内生産によってまかなわれ、一部は必要物資の輸入によってまかなわれる。最終財貨の需要の増加によって、生産セクターが拡大し、投資財に対する需要が刺激される。投資財に対する需要もまた、国内生産と輸入によってまかなわれている。

経済セクターによって生産された財貨は、消費者によって最終的に使用され、中間財や資本財も消費者の手に渡ることとなる。国内市場で生産された商品も一部輸出され、輸出品目は、石油、天然ガス、石油以外の商品に分けられる。石油以外の商品の輸出は、異なった経済セクターの生産関数として検討される。財貨の輸入と輸出との差額は、外国貿易における差額として理解され、外国為替準備高は、動的在庫方程式によって貿易収支と連動することになる。

化石エネルギー資源は国内消費と輸出両方に利用されており、国内でのエネルギー消費の動向は、このモデルでは外生変数としてとらえられ、輸出は内生変数とみなされる。各期間の化石エネルギー埋蔵量は、動的方程式によって評価され、それぞれの期間における輸出と消費レベルと連動する。

個人および公共の消費、投資、外国為替収支等の合計は、それぞれの期間における国内総生産高と等しいものと考えられる。

それぞれの期間における消費、生産、投資、人口、輸入および輸出等の相互関係によって、計画期間の経済成長における実行可能な選択肢が決定されることになる。もっとも現実に適した選択肢を選ぶためには、目的関数が判断基準として定義されなければならない。目的関数は、計画期間末での個人消費合計と資本ストック合計およびエネルギー資源の価値を合わせたものとしてとらえられる。本研究の目的は、計画期間中の目的関数の割引値合計を最大にすることにある。

2.4 経済発展

マクロ経済モデルを援用して、経済成長が検討された。本研究では、マクロ経済指標の一般的な動向に関する情報を入手し、経済成長に対するさまざまな外生的パラメータの影響をみきわめることを目的とする。そのために基準シナリオが定められた。基準シナリオは、この場合、当該発展経路の可能性が高いということを示すものではなく、むしろ、異なった条件のもとでの経済成長の動向を比較するための、物差しを提供するものである。さまざまな場合におけるモデルの異なった結果を比較することによって、経済成長に対してさまざまな政策が、どのような影響を及ぼすものであるかということについての情報を得ることができる。

本項の以下の部分において、基準シナリオの枠組みが定義され、おもな外生変数の動向が提示される。シナリオが説明された後で、基準シナリオの基本的な結果が示され、その後で、外生パラメータにおける変化が経済成長にどのように影響するかが検討されることになる。

2.4.1 基準シナリオ

モデルにおいてもっとも重要な外生パラメータとなるのが、人口、国際エネルギー市場における石油価格、ならびに石油、天然ガスおよび電力の国内消費である。図2.9は総人口と都市部人口の動きを示している。総人口は1990年の55百万人から2021年には106百万人へと増加する。世界の市場における石油価格と国内の石油消費の基本シナリオは図2.10に示されている。石油価格は1991年の1バレル当り16.7ドルから2021年には1バレル当り35ドルへと徐々に上昇する（1991年の恒常価格で換算）。石油の国内消費は上昇していく。

図2.11と2.12は電力と天然ガスの国内消費の将来の動向を予想したもので、それぞれの上昇率も示している。電力消費は1989年の年間50GWhから2021年には400GWhへと上昇し、天然ガスの需要は1989年の年間50Mrd. m³から2021年には1,300Mrd. m³へと上昇する。

2.4.2 基準シナリオの結果の要約

国内総生産と一人当たりの国内総生産の動向が、図2.13に示されている（1982年の恒常価格で換算）。国内総生産は1989年の年間10Mrdリアルから2021年には24Mrdリアルにまで伸び、一人当たりの国内総生産は当初は上昇するが、最後の10年間は下降傾向をみせる。

また経済構造の変化も観察される。国内総生産における鉱工業の割合は、1989年には13.6%であったものが、2021年には19.2%へと上昇している。国内総生産における農業とサービス業の割合には、ほとんど変化は見られない。

都市部および地方における個人消費は、1989年の年間それぞれ4,246Mrdリアルおよび2,052Mrdリアルから、2021年には10,572Mrdリアルおよび5,998Mrdリアルへと上昇している。

Fig. 2.9: Total & Urban population

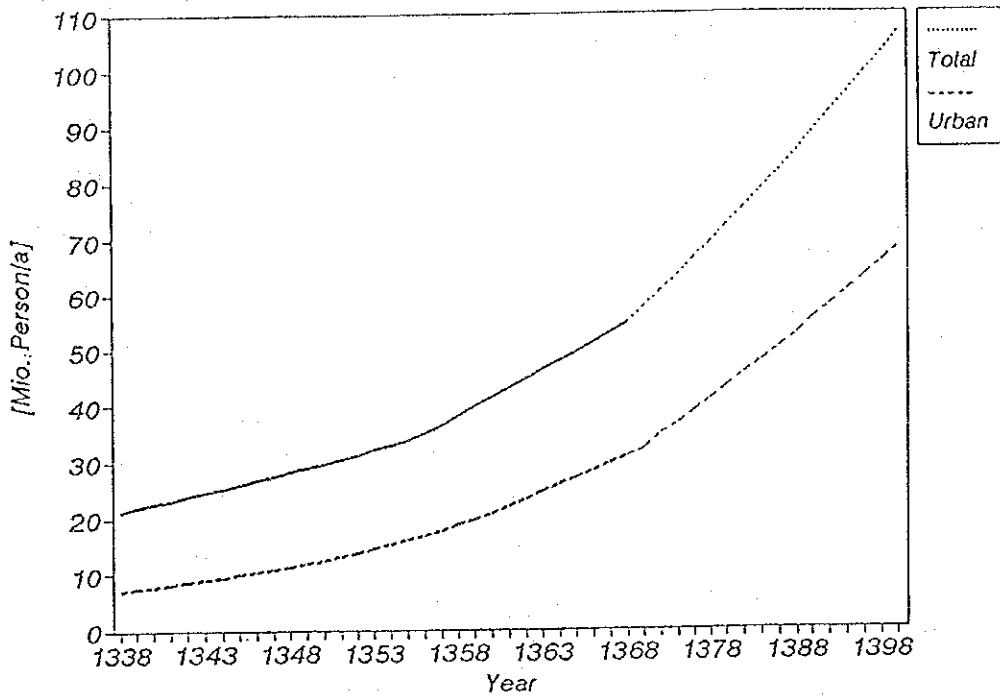


Fig.2.10 :Crude Oil Price in the World Market & Domestic cons. of Oil

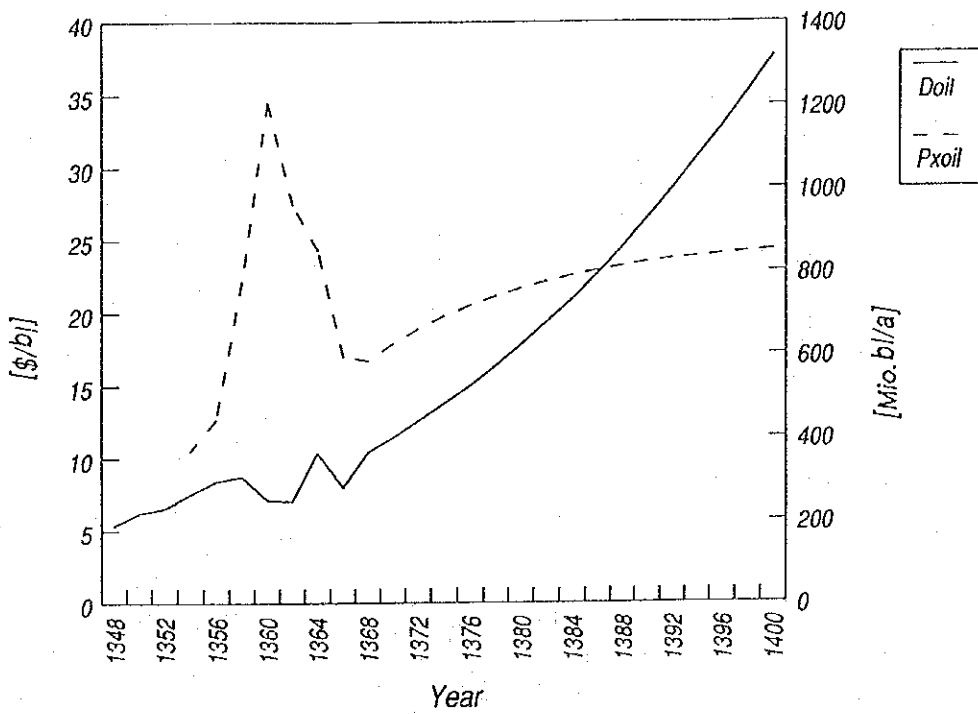


Fig. 2.11 Consumption of Electricity and Natural Gas Consumption

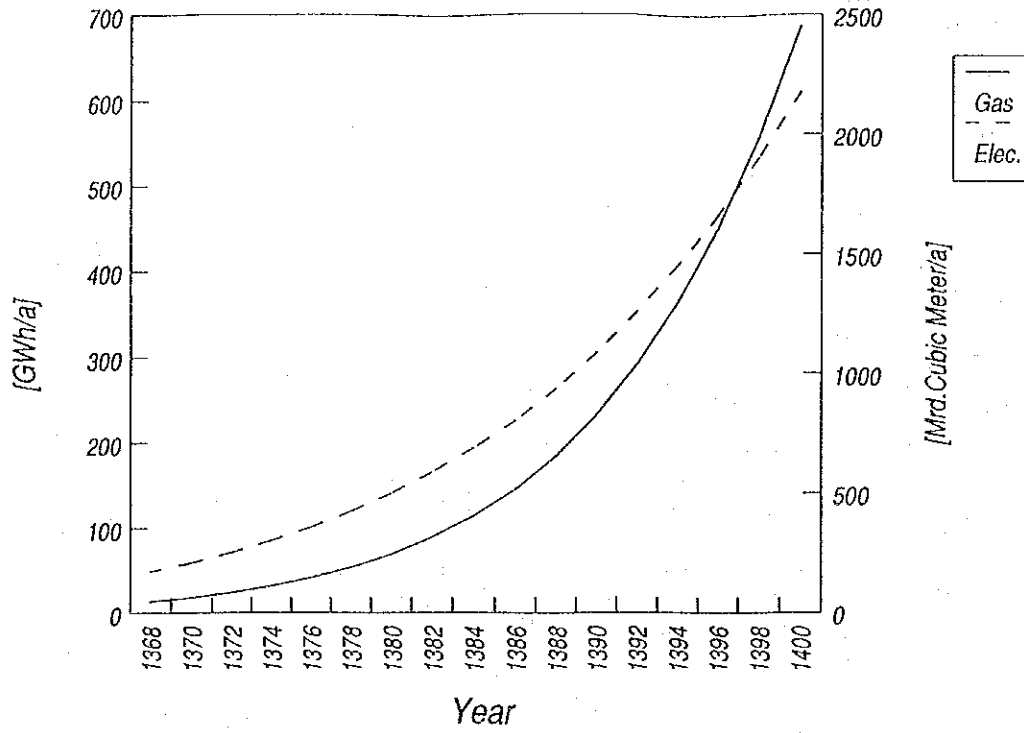


Fig. 2.12 Rate of Increase of Electricity & Gas Consumption

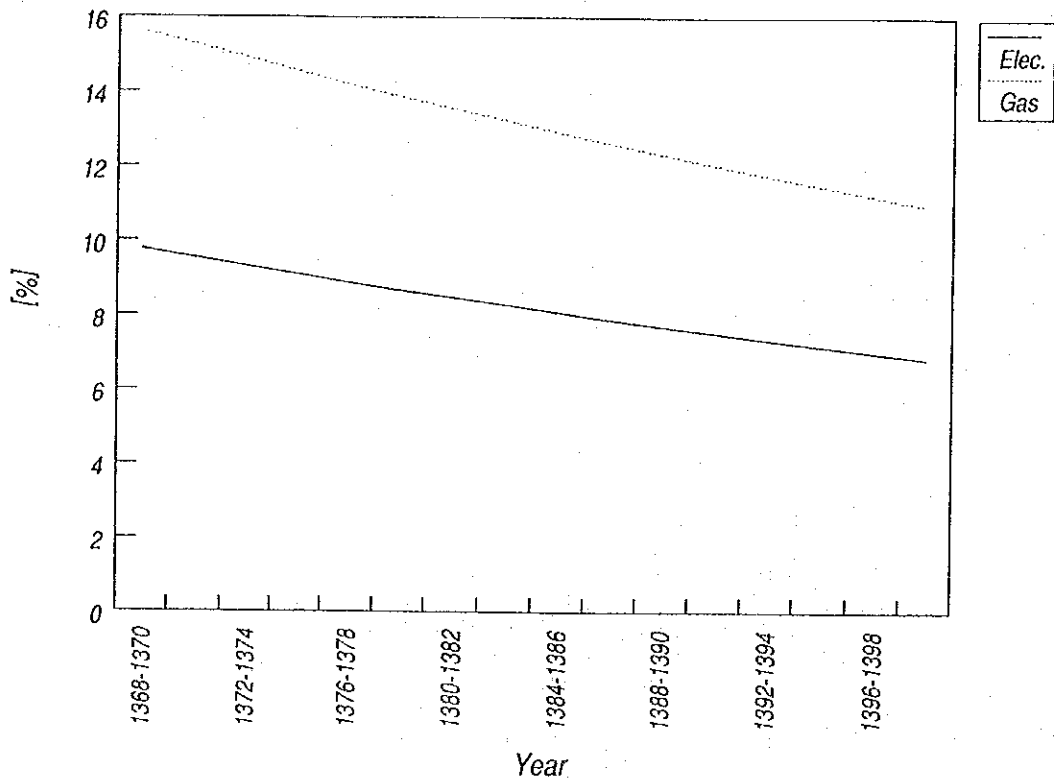


Fig.2.13: Development of GDP and GDP per Capita

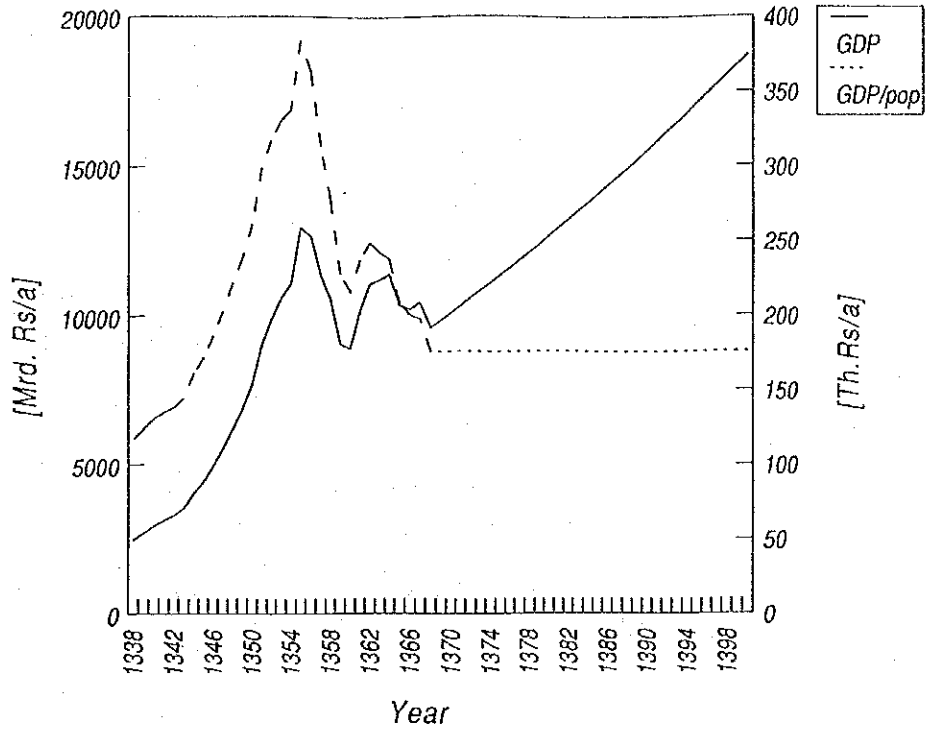
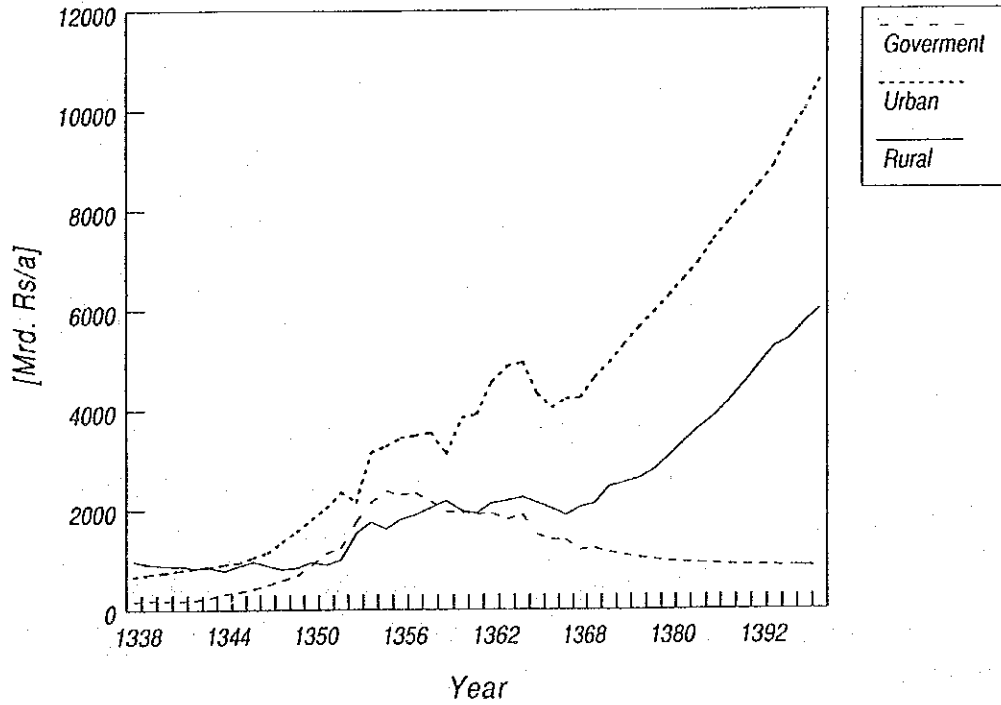


Fig. 2.14: Consumption of Urban, Rural, and Government Expenditure



しかし政府の歳出は現在の年間1,300Mrdリアルのみままでとどまっている（図2.14参照）。

資本形成は今後30年間にかなり急激に増加することになる。資本ストック総額は1989年の年間19,000Mrdリアルが、2021年には50,000Mrdリアルにまで蓄積される。図2.15から、資本形成の動向は、計画期間中の急激な投資の増加によって支えられ、投資レベルはおよそ四倍にまで伸び、2021年には年間約3,500Mrdリアルのレベルにまで達することがわかる。

外国貿易の進展をみると、消費財の輸入は制限され、大きな変化は見うけられない（図2.16参照）。資本財の輸入は当初急激に伸び、2010年後はそのレベルに変化はみられない。しかし中間財の輸入は急激に増加し、全輸入のかなりの割合を占めることになる。

石油以外の製品の輸出は急激に伸び、1990年から2021年にかけて2.5倍の増加を示す（図2.17参照）。石油の輸出の伸びは緩やかであり、2000年以降はおよそ年間2,000Mrdリアルのレベルで維持されるものとみられる。

図2.18は原油と外貨のシャドウ・プライス動きを示している。石油のシャドウ・プライスは1991年の1バレル当り⑤ドルから上昇し、2021年には1バレル当り40ドルのレベルに達する。石油のシャドウ・プライスの上昇率は年率で7%であり、これは、モデルの外生変数とみなされる実質的な資本収益率に等しい。石油のシャドウ・プライスの動向は、エネルギー資源が希少価値の高い商品であり、この資源が希少であることが、この国の経済成長に対してきわめて大きな影響を持つものであることを示している。

外国為替におけるシャドウ・プライスは1989年の1ドル当り250リアルから、2021年には1ドル当り550リアルにまで上昇する。中間財と資本財の輸入の増加により、外貨に対する需要が刺激され、エネルギー資源が急速に減少し、エネルギー資源の輸出が規制されることによって、外国為替による収益力が減少することとなる。その結果、外貨の需要が加熱し、外貨のシャドウ・プライスが上昇することとなる。

2.4.3 石油価格が経済成長におよぼす影響

石油価格の推移が経済成長におよぼす影響を研究するために、国際市場における石油価格を表す、異なったシナリオが検討される。基本的なシナリオを図2.19に示す。シナリオPOIL-3は石油価格が急激に上昇し、2000年において1バレル当り35ドルのレベルに達する状況を示している。

シナリオPOIL-1とPOIL-2は、計画期間におけるより緩やかな上昇率を示すものである。シナリオPOIL-4は世界市場における石油価格が2021年に1バレル25ドルになることを想定している。

図2.20は石油価格のさまざまなに変化した状態における、国内総生産の伸びを示している。国際市場のエネルギー価格が上昇すれば、経済成長力も増大する。またエネルギー価格が上昇すれば、経済成長の加速する割合も大幅に異なってくる。

Fig.2.15:Development of Capital Stock and Investment

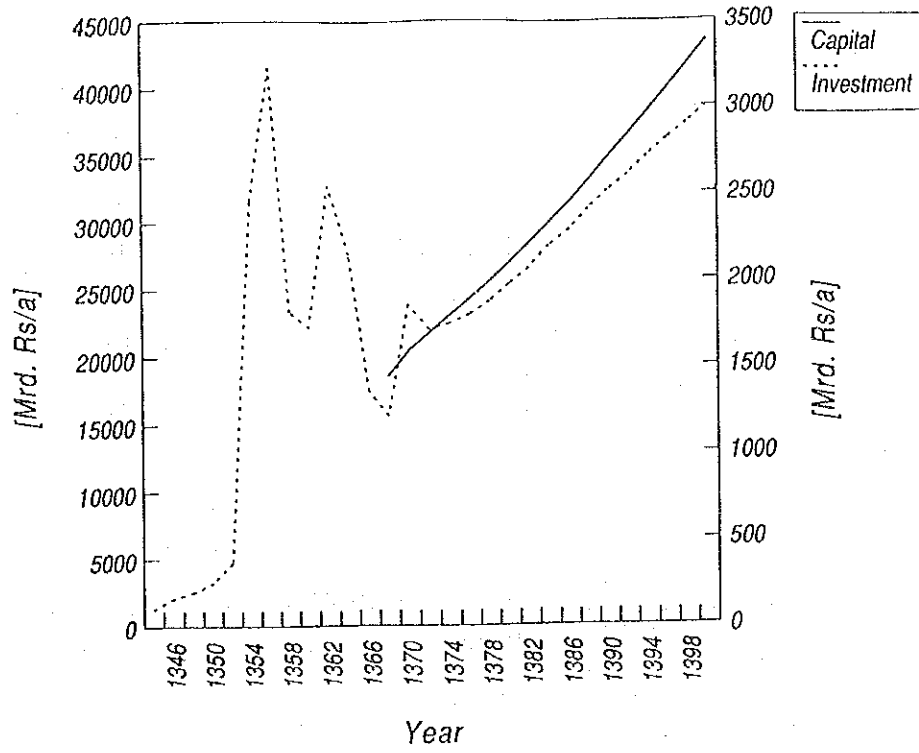


Fig.2.16 :Import of Consumer, Intermediate & Capital Goods

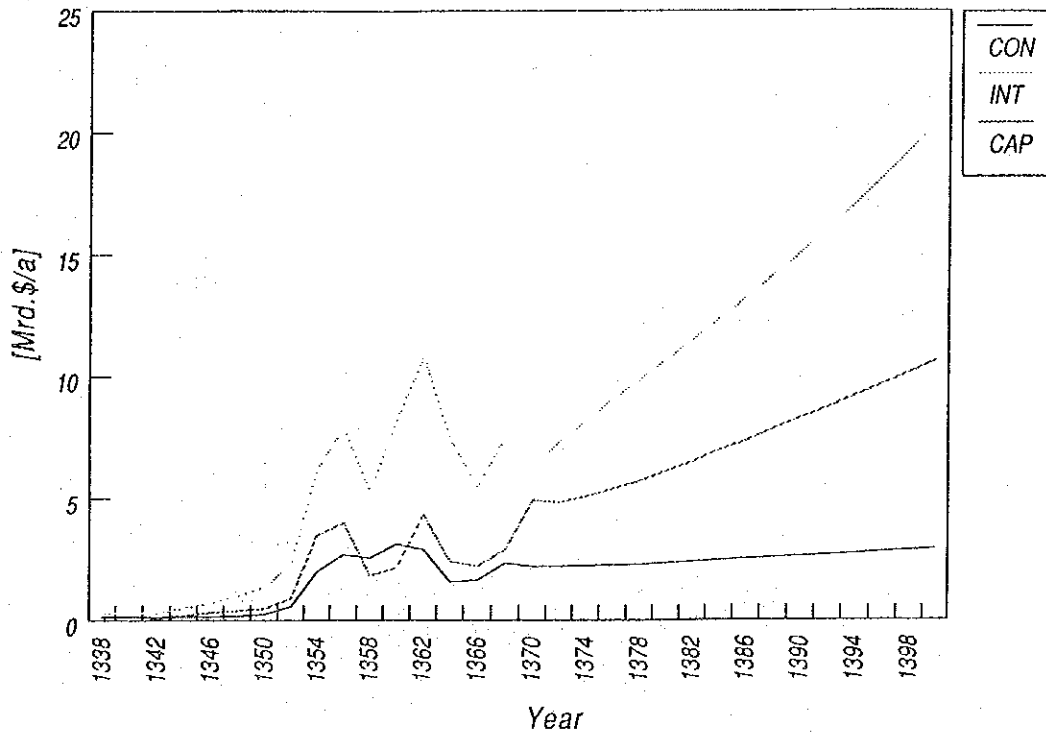


Fig.2.17 :Export of Non_ Oil Goods

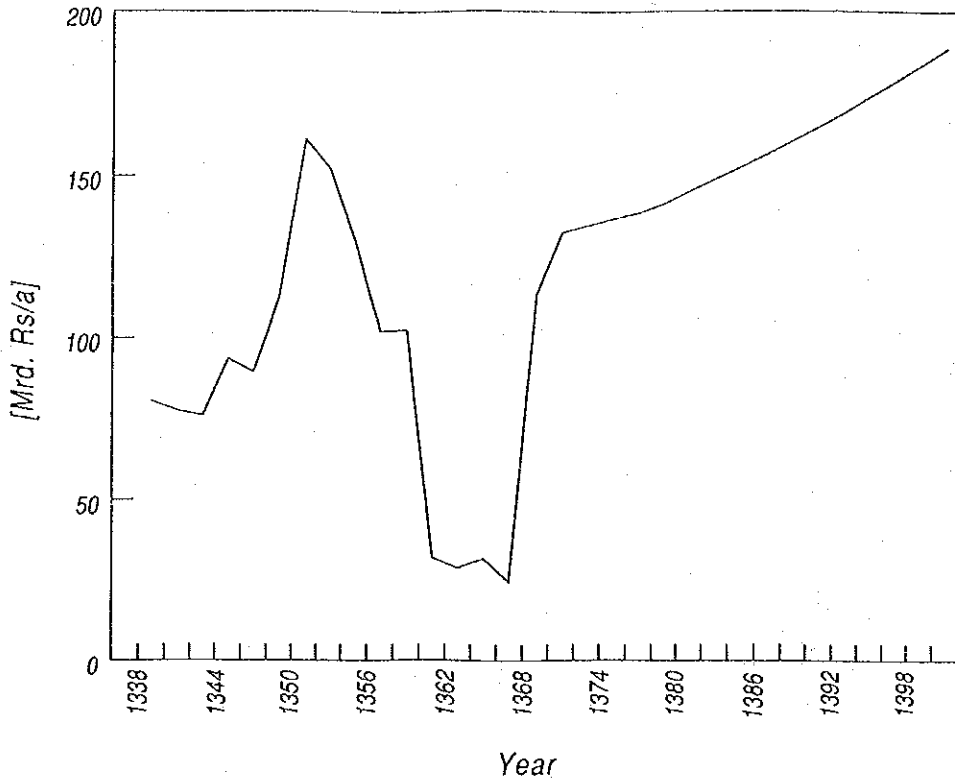


Fig.2.18:Shadow Price of foreign Exchange Reserves and Oil

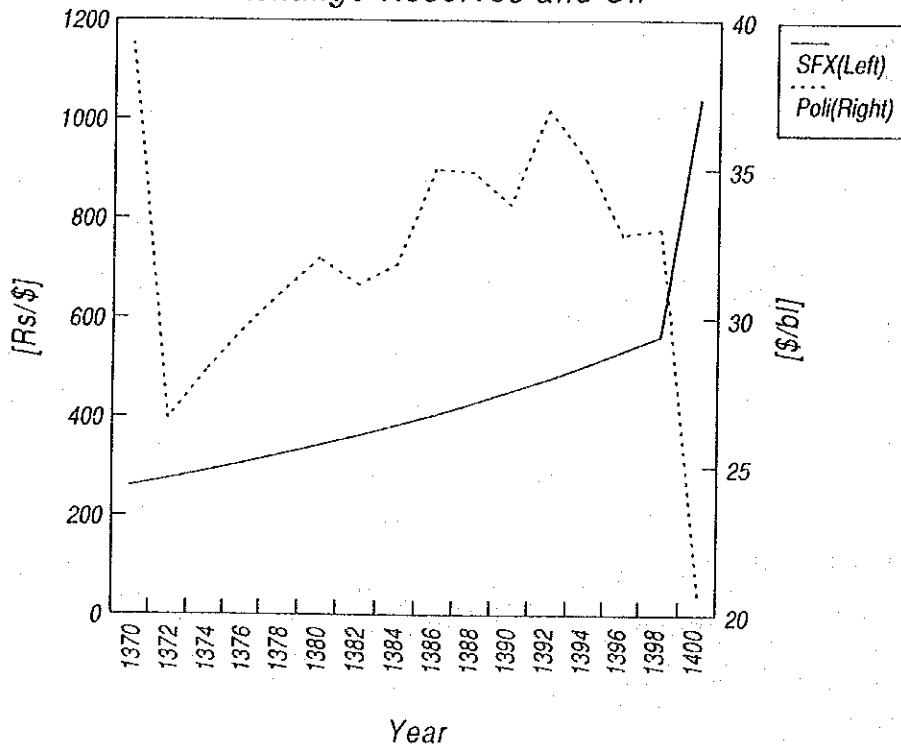


Fig. 2.19: Crude Oil Price in the World Market

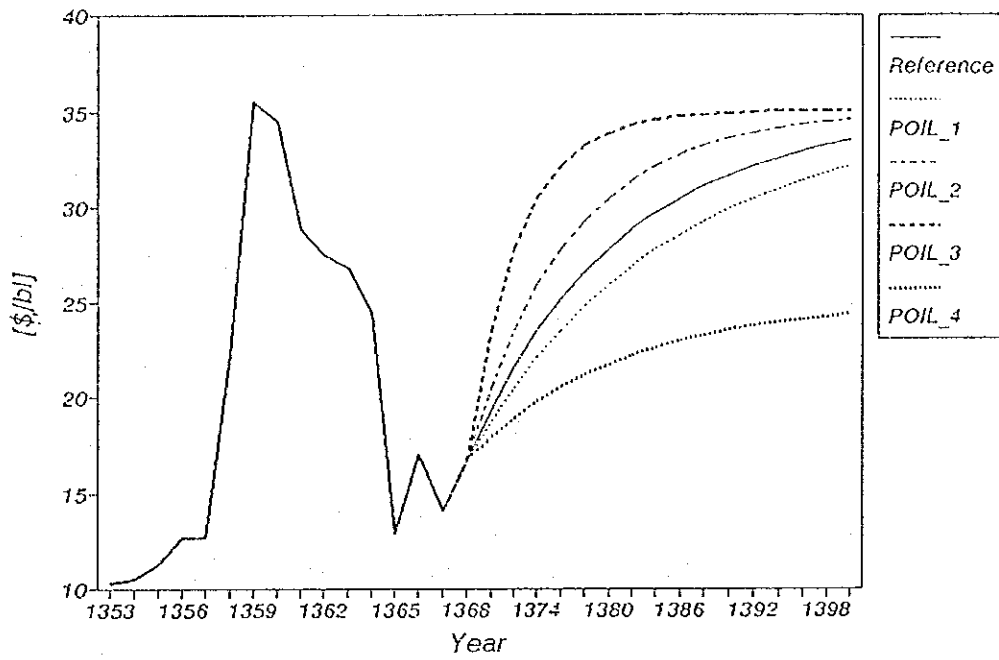
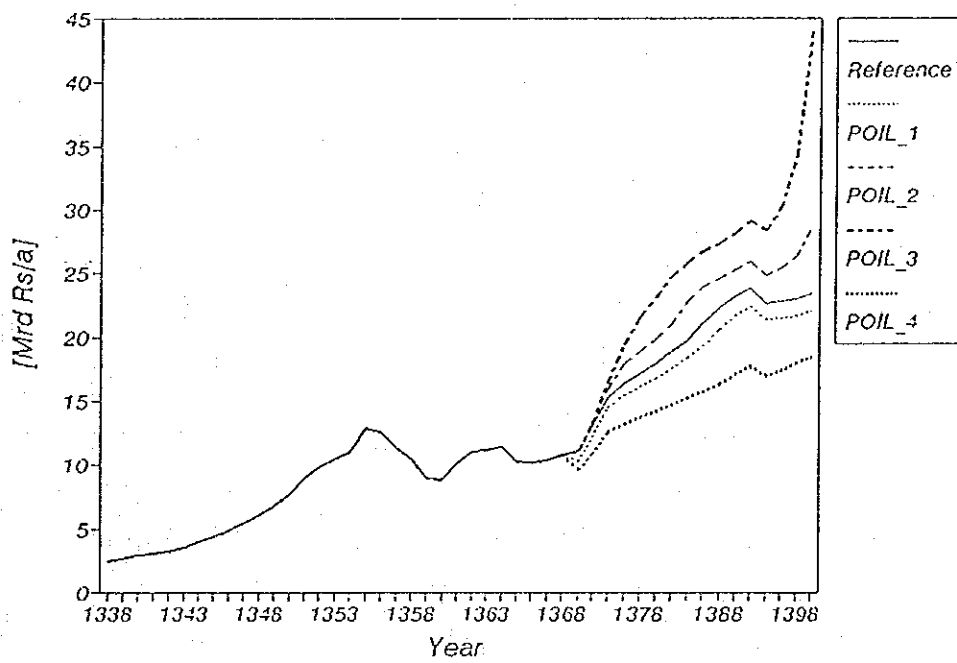


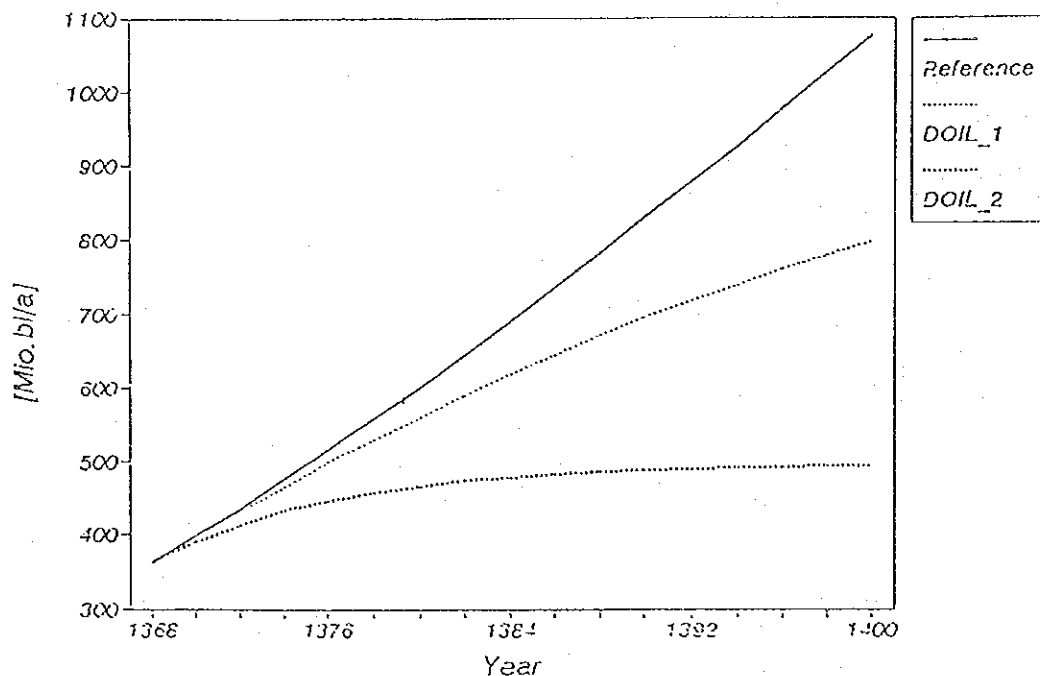
Fig. 2.20: Development of GDP for Diff. Scenarios of Oil Prices



2.4.4 国内におけるエネルギー消費の影響

国内のエネルギー消費が経済成長に及ぼす影響を探るために、国内のエネルギー消費の成長率に関するシナリオをさらに二つ考察することにする（図2.21参照）。

Fig. 2.21: Scenarios of Domestic Oil Consumption



シナリオDOIL-1は穏やかな省エネ政策がとられたものと仮定し、その結果、2010年におけるエネルギー消費の上昇率は現在の半分にまで減少する。二番目のシナリオでは、各社会・経済セクターで省エネが推進されたものと仮定している。急速な省エネ努力の結果、国内でのエネルギー消費の伸び率は、2000年の時点で、1990年の値の半分となる。

急激な省エネの推進が及ぼす影響を分析してみると、シナリオDOIL-2の場合、国内総生産は1994年から2021年にかけて年率平均8%の割合で上昇することになる。シナリオDOIL-1とDOIL-2とを基準シナリオと比較してみると、国内市場において省エネ推進した場合に、国家の経済成長の可能性が非常に大きなものとなることが明かである。

急激な省エネを推し進めることによって、化石エネルギー資源と外国為替収入に対する制約が緩和され、その結果、石油と外国為替収入のシャドウ・プライスが減少する。これは、図2.22と2.23によって示されている。図2.22では、シナリオDOIL-2の場合の石油のシャドウ・プライスの動向は最低のレベルのまま変化が見られない。図2.23では、外国為替収入のシャドウ・プライスはDOIL-2の場合に、ほかのシナリオにくらべて低い動きを示している。

Fig. 2.22: Shadow Prices of Crude Oil for Diff. Scenar. of Domestic Oil Con.

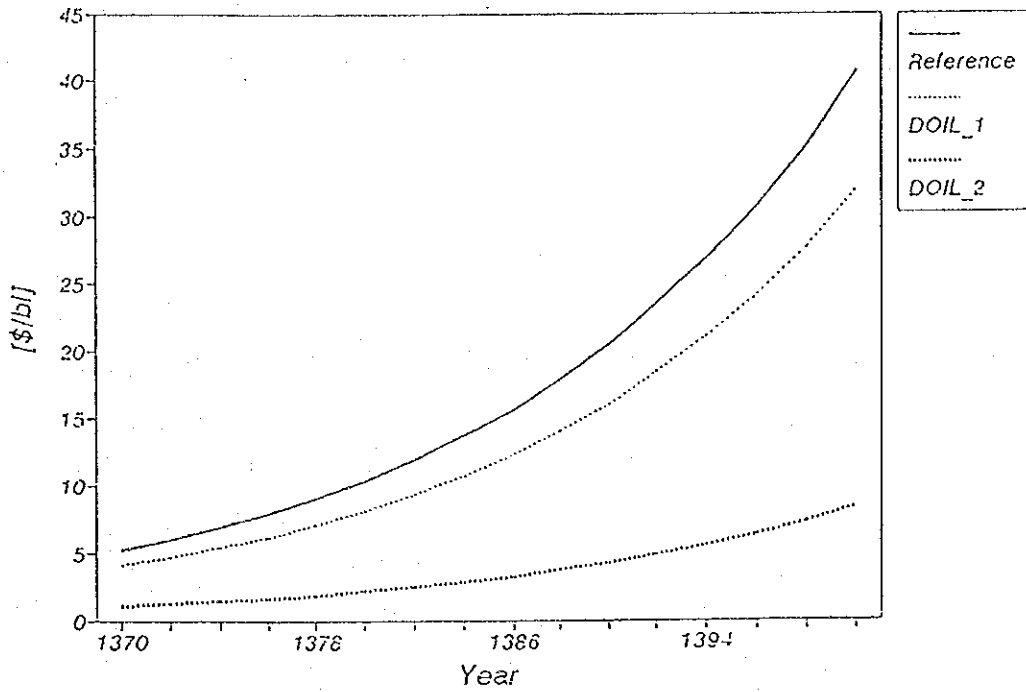
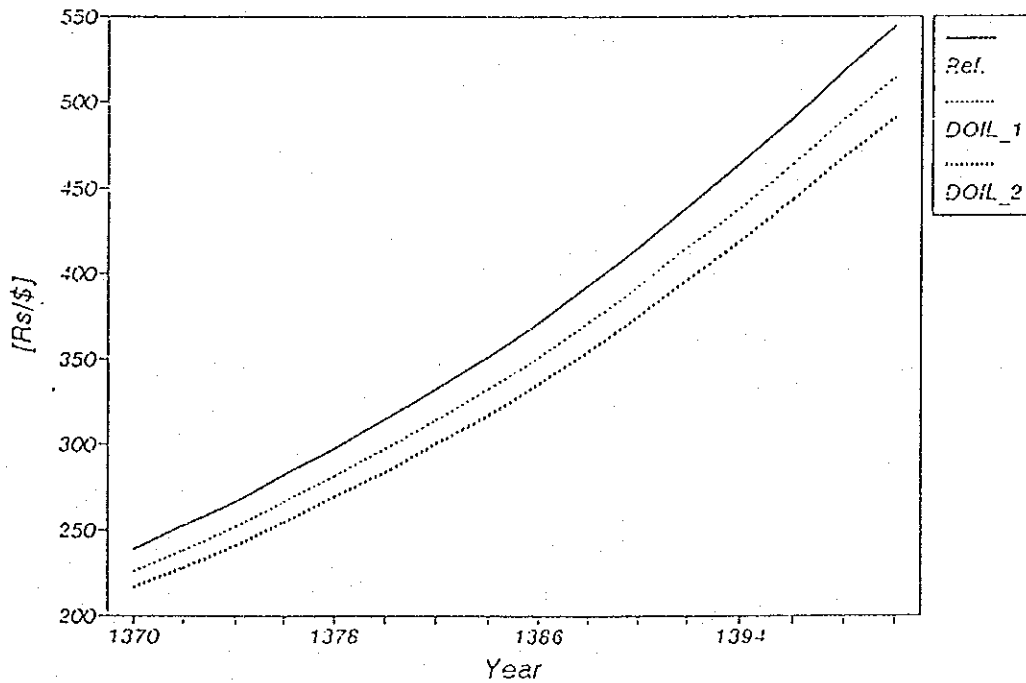


Fig. 2.23: Shadow Prices of Foreign Exch. Res. for Diff. Scen. of Domes. Oil Co.



2.5 結果の要約

基準シナリオのモデルの結果を検討し、それを石油価格と国内エネルギー消費の上昇率に関する他のシナリオとくらべてみると、エネルギー資源の輸出は不可欠の経済活動であり、それゆえに経済成長がエネルギー資源の輸出による外国為替収入の変化に影響されるということがあきらかである。

エネルギー価格の上昇によって経済成長が助長される。国際市場におけるエネルギー価格の下落は、経済成長を達成するうえで、さまざまな困難な状況を生み出すこととなる。エネルギー資源の輸出に対する制約を緩和することが、経済成長の大きな原動力となると考えられる。

エネルギー資源の輸出に対する制約を緩和するには、国内市場における省エネを推進する必要がある。国内市場における省エネを推進することによってもたらされる重要な結果が二つある。国内でのエネルギー消費の上昇率が低下することによって、エネルギー供給システムの拡大のための投資の必要性が低下し、エネルギーセクターにおける資本財と中間財の輸入が減少する。また他方では、エネルギーの国内消費の伸び率が低下することによって、エネルギー資源の輸出に対する制約が緩和され、石油と外国為替収入のシャドウ・プライスが低下する。この場合、経済成長の可能性が上昇することになる。それゆえに、国内市場における省エネの推進は、この国の経済成長のための、確実に、しかも有望な方策であるといえる。

3. エネルギー需要の分析

3.1 はじめに

国内におけるエネルギー消費の動向は、経済成長において重要な役割を演ずることとなる。エネルギーの国内消費が増加するにつれて、エネルギー資源が急速に減少し、エネルギー資源の輸出と外国為替による収益の可能性が制限されることとなる。しかし一方では、エネルギー需要が増加するに従って、エネルギーセクターに対する投資がさらに必要となり、それによって外国為替による収益を他の経済セクターにまわすことが制限されるようになる。この外国為替による収益分の不足が経済における他のセクターの成長過程を阻害する要因となってしまふのである。

エネルギー需要が、エネルギー資源の輸出とエネルギーセクターへの投資の可能性に及ぼす影響を分析することは、総合的なエネルギー計画をおこなううえでの重要な課題である。そして、さまざまな社会・経済セクターにおけるエネルギー需要が詳細にわたって検討された。本研究の主な目的は、エネルギー需要の増加の動向を明確化し、社会的、経済的、技術的な変化がエネルギー資源の消費にどのような影響をおよぼすかについて情報を確保することにある。

エネルギー需要の分析という目的をはたすために、有効エネルギー需要と最終エネルギー需要とを区別することにする。本研究では、成長過程におけるエネルギー需要を予測するために、まず有効エネルギーを検討する。そして次に、その有効エネルギー需要を満たすために、エネルギー供給システムの最適化が検討され、いくつかの最適戦略が明らかにされる。

ここでは、燃料ミックス、エネルギー代替および生産ファクターの発展、さらにはエネルギーセクターで利用可能な技術上の選択肢の代替案を検討することが可能となっている。

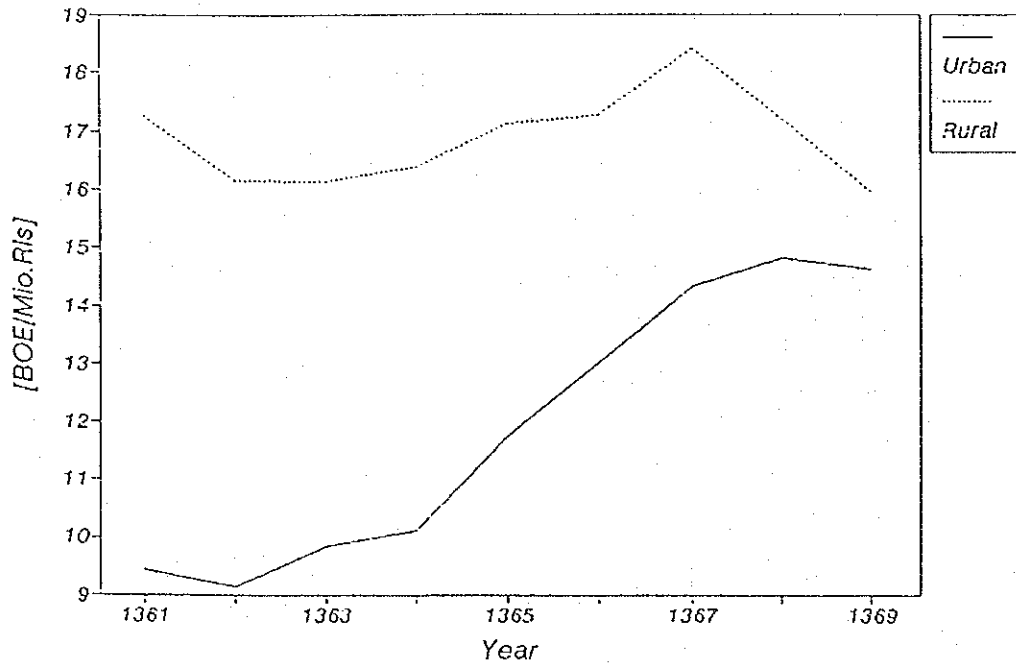
本章においては、エネルギー需要の詳細にわたる分析が示される。まず家庭、工業、運輸交通セクターでのエネルギー消費を概観し、エネルギー需要を研究する際に採用された方法を簡単に紹介し、分析によって得られたおもな結果を要約することとする。

3.2 社会・経済セクターにおけるエネルギー消費

3.2.1 一般家庭

都市部における個人消費単位ごとの最終エネルギー使用は、1982年の世帯あたり9 BOE/百万リアル（1982年価格）から、1990年には15BOE/百万リアルに上昇した。これは年間平均上昇率5.6%に相当する。個人消費単位ごとのエネルギー使用は、過去10年間を通じてほとんど変化をみせていない（図3.1参照）

Fig. 3.1: Final energy uses per unit real exp. in rural and urban hous.



最終エネルギー消費の都市部と地方の分布状況を見てみると、1982年では最終エネルギー資源の50%が都市部において消費され、これが1990年にはおよそ60%へと上昇している（図3.2参照）。

最終エネルギー消費の燃料全体の内訳を見てみると、各世帯での最終エネルギー消費において、伝統的な燃料の占める割合が1982年の30%から1990年の19%へと過去10年間に減少する傾向を示している（図3.3参照）。図3.4と3.5に示されている都市部と地方の最終エネルギー消費の構造を見ると、地方の世帯においては伝統的な燃料がエネルギー消費の50%以上を占めることがわかる。しかし都市部の世帯においては、伝統的な燃料の最終エネルギー消費に占める割合は、1982年で12%であったものが、1990年には6%へと低下している。

都市部と地方の最終エネルギー消費の構造上の違いは、都市部と地方の収入レベルのことになった世帯の間にも見うけられるものである。図3.6～3.13は都市部のさまざまな収入レベル

Fig. 3.2: Share of final energy consumption in rural and urban areas

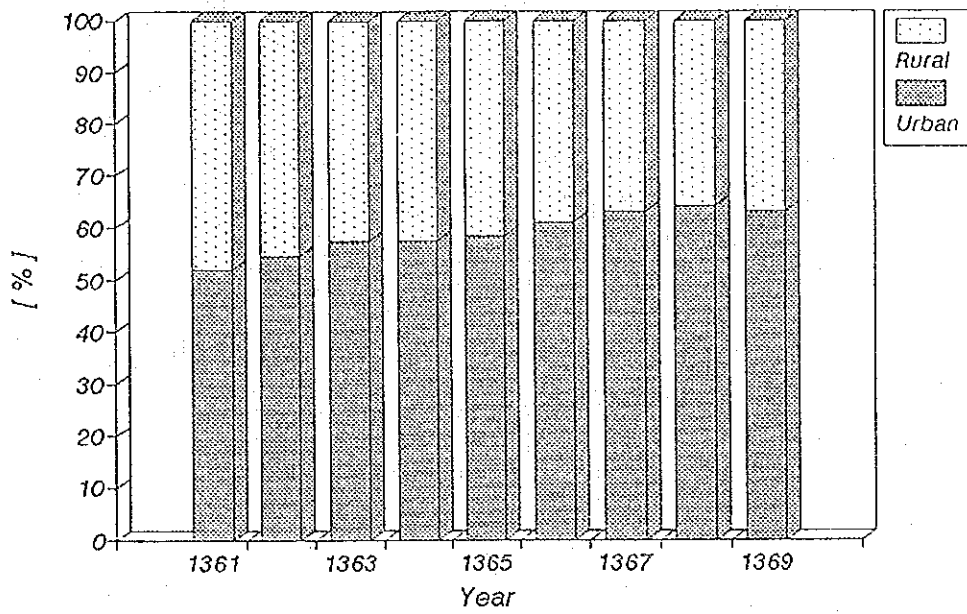


Fig. 3.3: Development of final energy consumption in household

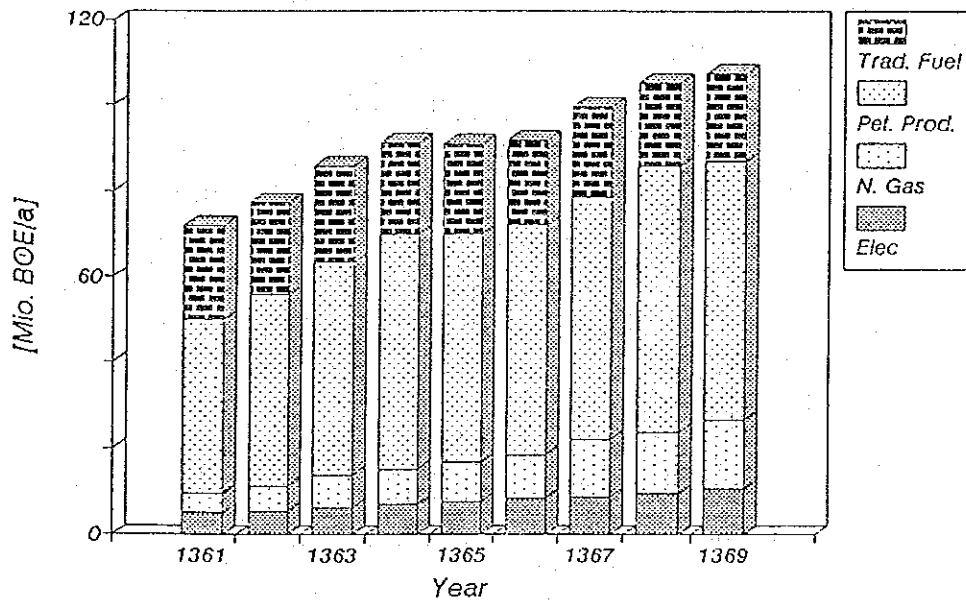


Fig. 3.4: Development of final energy consumption in urban household

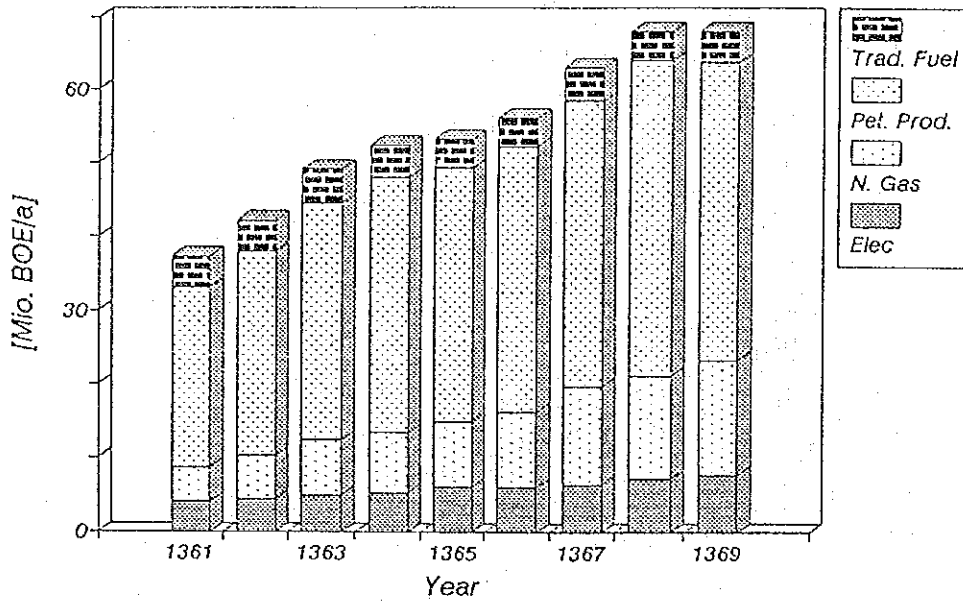


Fig. 3.5: Development of final energy consumption per capita in urban households.

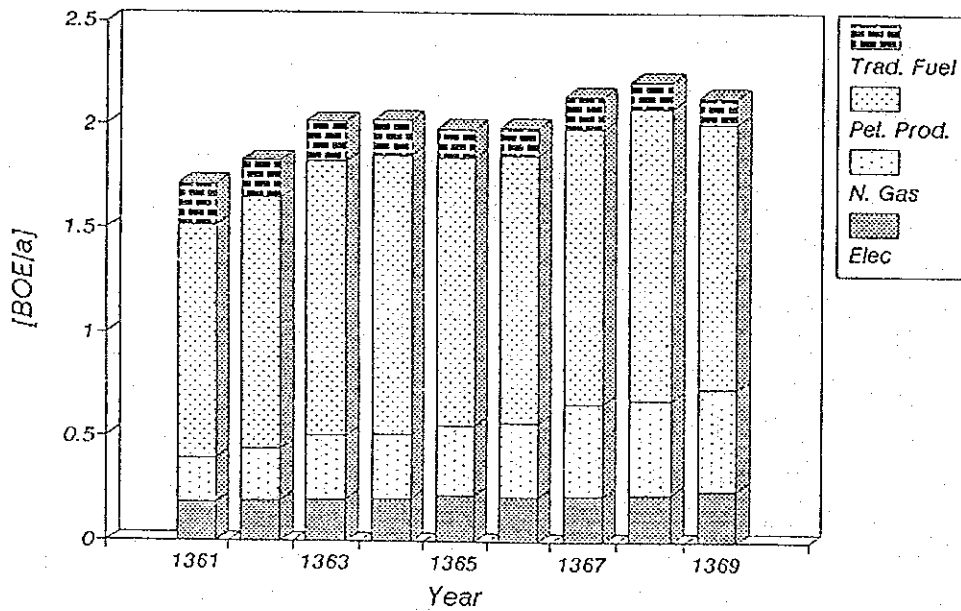


Fig. 3.6: Development of energy con. of a family in urban areas (1361)

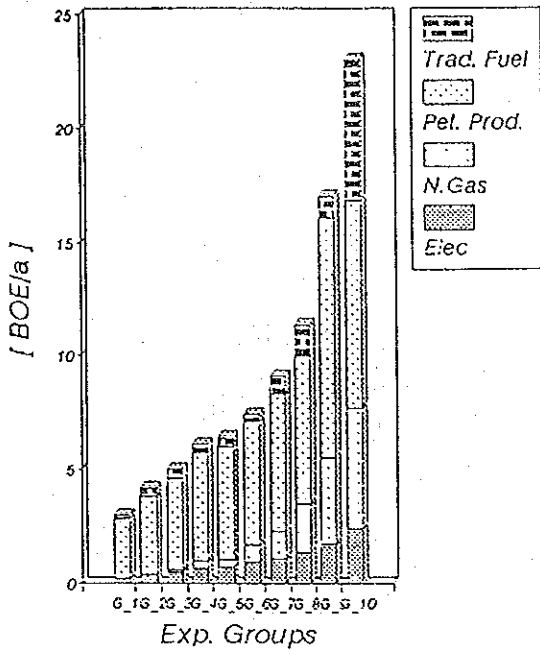


Fig. 3.7: Development of energy con. of a family in urban areas (1363)

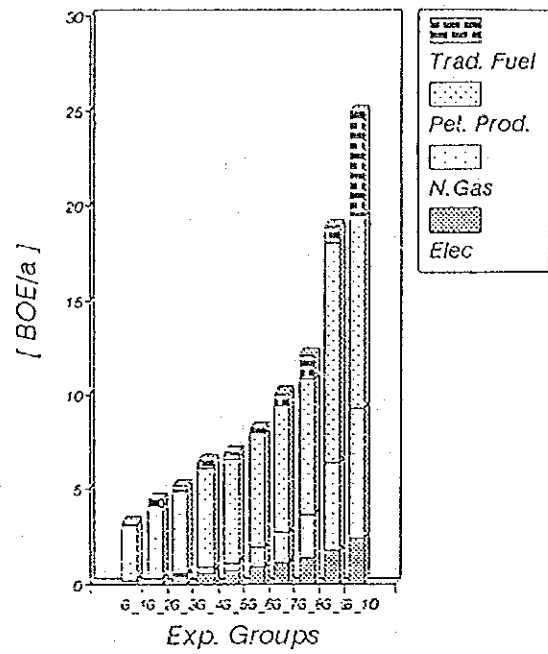


Fig. 3.8: Development of energy con. of a family in urban areas (1366)

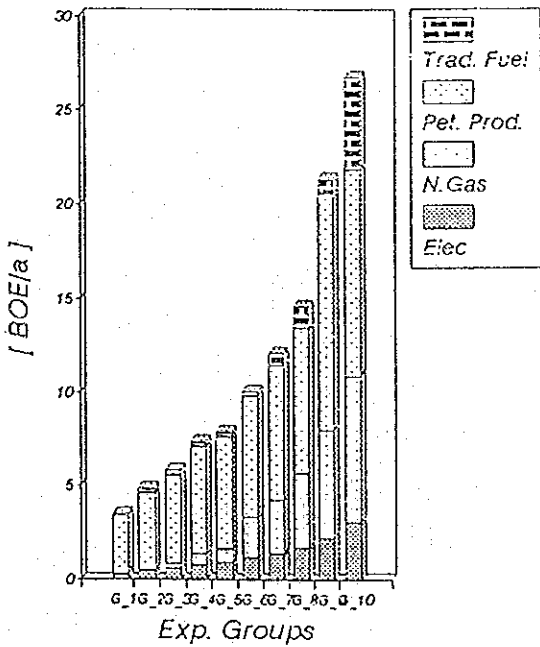


Fig. 3.9: Development of energy con. of a family in urban areas (1361)

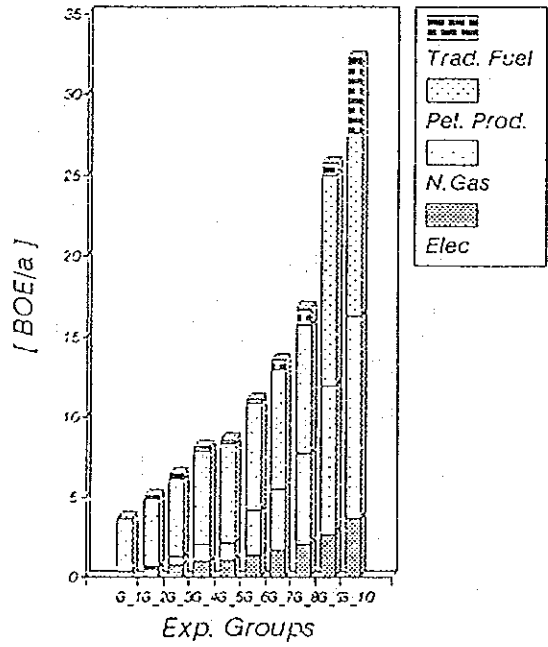


Fig. 3.10: Development of energy con. of a family in rural areas (1361)

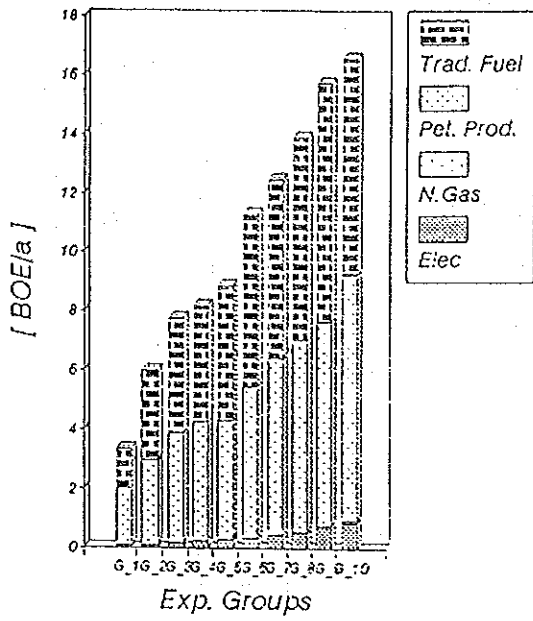


Fig. 3.11: Development of energy con. of a family in rural areas (1363)

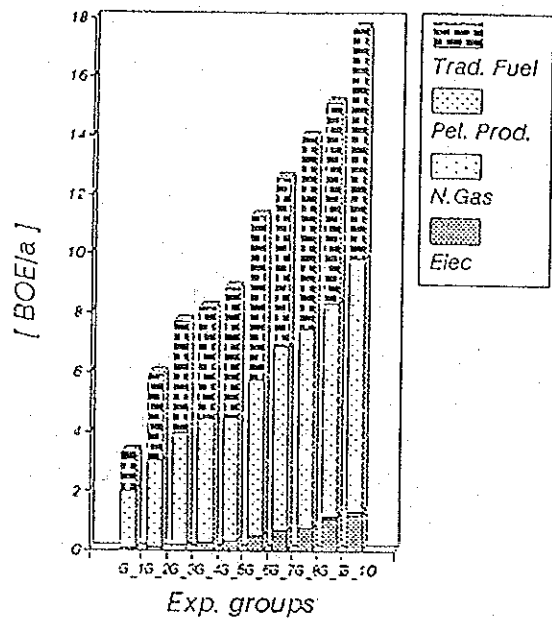


Fig. 3.12: Development of energy con. of a family in rural areas (1366)

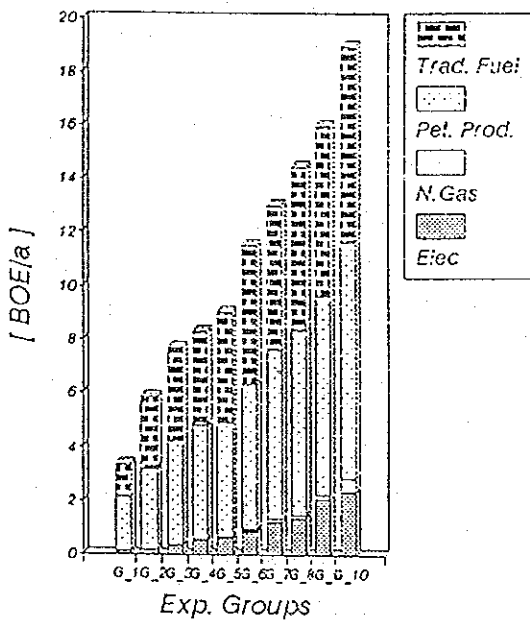
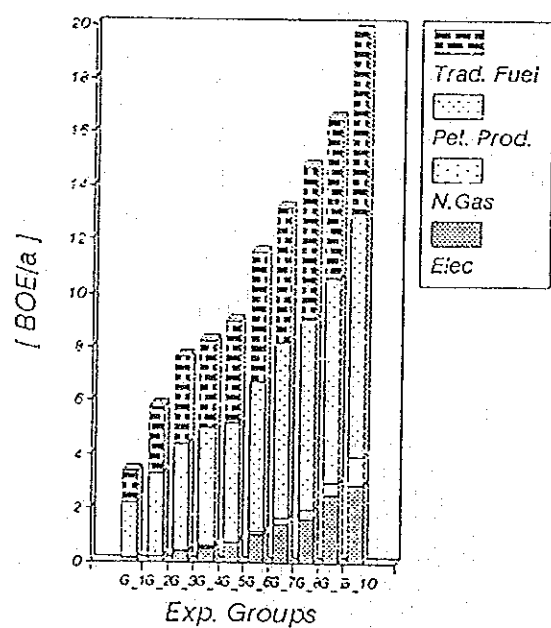


Fig. 3.13: Development of energy con. of a family in rural areas (1369)



のグループにおける最終エネルギー資源の消費の実態を示している。

これらの数値によって、おもに三つの動向が示されている。第一に言えることは、高収入グループにおける世帯の総エネルギー消費量が増加傾向にあるということである。第二に、一般家庭の最終エネルギー消費において天然ガスの占める割合が上昇している。第三に、高支出グループの世帯は低支出グループよりもはるかに大量のエネルギーを消費している。これは高支出グループの世帯は、低支出グループの人々よりも高い生活水準を享受しているということによるものである。

地方のさまざまな支出レベルにおける最終エネルギー消費を比較してみると、高支出グループ世帯の最終エネルギー消費の増加は、都市部の低支出グループよりも低いことがわかる。また地方では伝統的な燃料が最終エネルギー消費の重要な要素となっており、地方における天然ガスの消費も増加しているが、その割合はまだ、石油製品が最終エネルギー消費に占める割合には遠く及ばない。

一般家庭における有効エネルギー需要を比較すると、都市部と地方で支出レベルごとの世帯のエネルギー消費の違いはさらに大きなものとなる。図3.14～3.21は、都市部と地方のことになった支出レベルごとのエネルギー使用状況にはっきりとした差異があることを示している。高支出グループに属する人々は、より高い生活水準を享受し、それゆえそれを支えるために、より多くの有効エネルギーを必要とするのである。

3.2.2 産業におけるエネルギー消費

産業は経済活動の中での成長セクターであり、GDPにおける割合も、1959年の5%から(恒常価格で換算)、1990年には15%へと上昇している。とくに過去10年間の産業活動の拡大にはめざましいものがある。図3.22は1959年から1990年までのGDPと産業の付加価値の伸びを示している。GDPにおける産業の占める割合の変化は、図3.23に示されている。この数値はまた、GRP(地域総生産)における産業の占める割合の動向をも表しており、さらに産業活動の地域総生産(国内総生産から石油セクターの付加価値を引いたもの)に対する割合が、ことに近年いちじるしく増加していることを示している。

産業によって経済成長に拍車がかけられるようになると、このセクターでのエネルギー消費が増加する。図3.24は大規模産業における総エネルギー消費の動向を示すものであり、産業の最終エネルギー消費に対する割合は図3.25に示されている。消費されたエネルギーの燃料内訳は図3.26で示されている。これによると石油製品が最終エネルギー消費の大部分を占めていることがあきらかである。天然ガスの割合も増加してきており、1990年には40%ほどに達する勢いを見せている。産業分野のエネルギー消費における天然ガスの貢献は、その入手可能性が決定要因となっており、供給制約が、天然ガスのエネルギー消費における割合を決める重要な要因となっている。

Fig. 3.14: Dev. of useful energy cons. of a family in urban areas (1361)

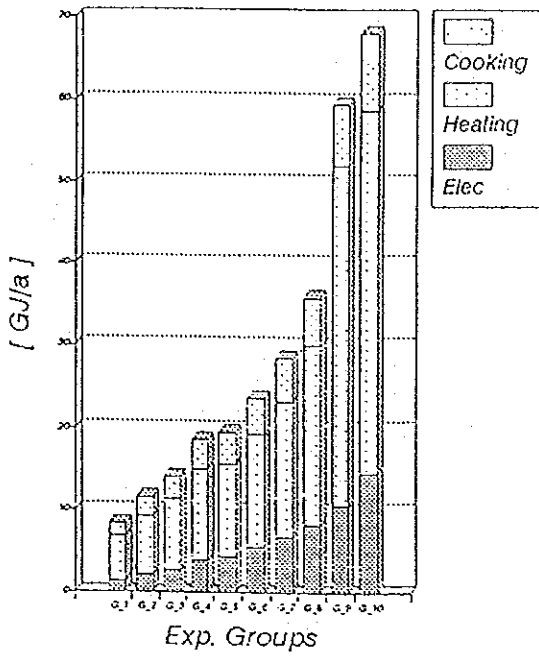


Fig. 3.15: Dev. of useful energy cons. of a family in urban areas (1363)

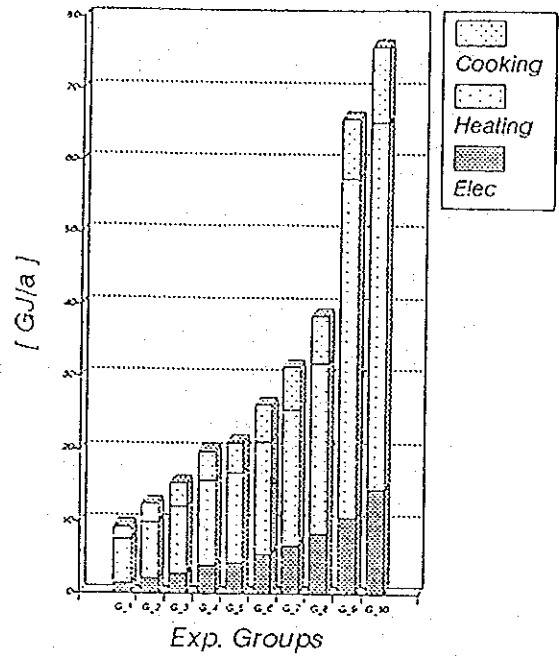


Fig. 3.16: Dev. of useful energy cons. of a family in urban areas (1366)

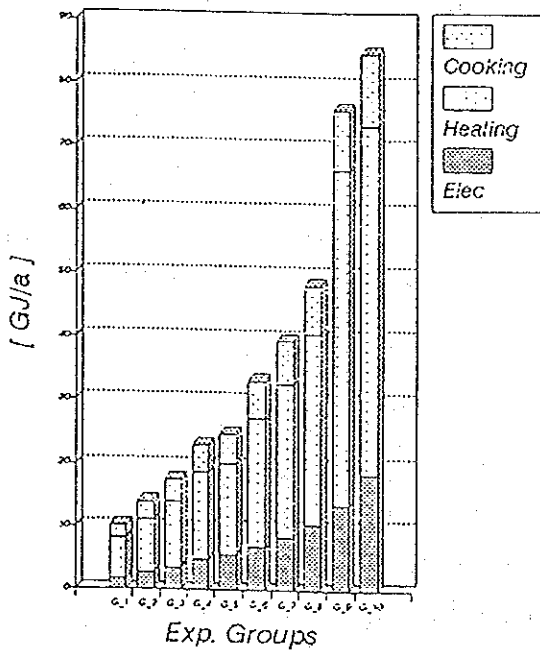


Fig. 3.17: Dev. of useful energy cons. of a family in urban areas (1369)

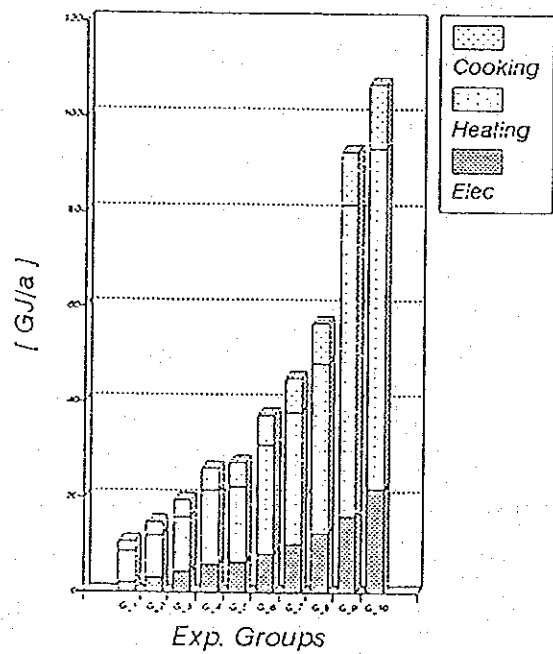


Fig. 3.18: Dev. of useful energy cons. of a family in rural areas (1361)

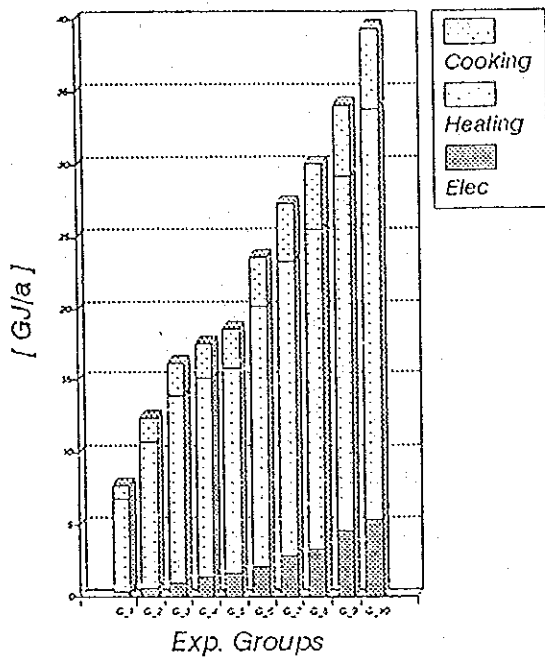


Fig. 3.19: Dev. of useful energy cons. of a family in rural areas (1363)

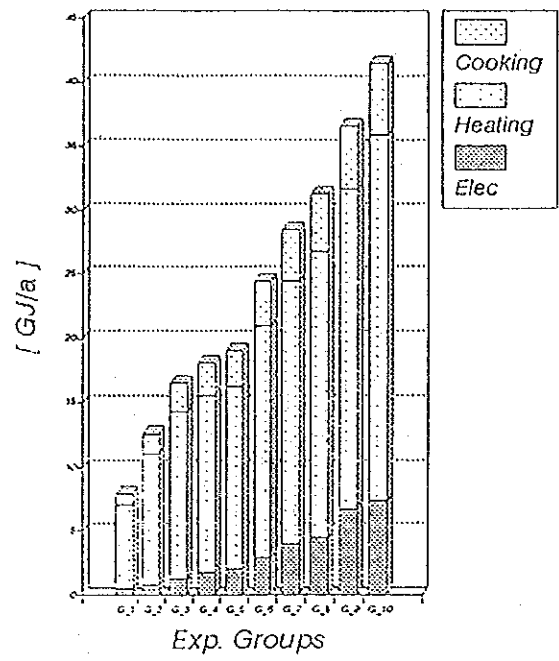


Fig. 3.20: Dev. of useful energy cons. of a family in rural areas (1366)

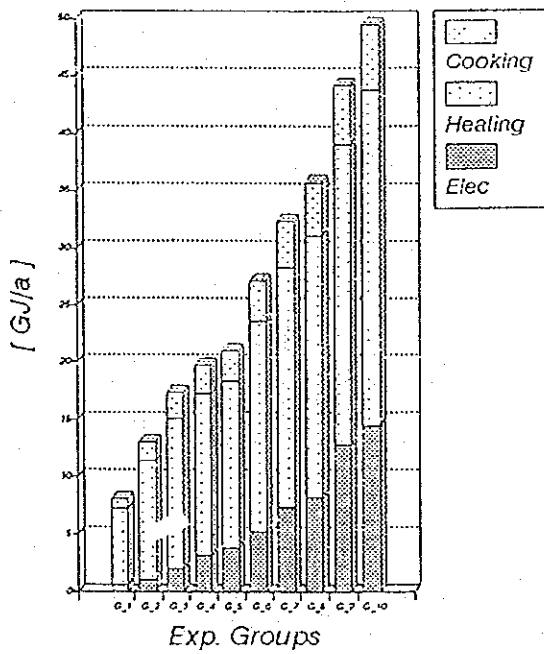


Fig. 3.21: Dev. of useful energy cons. of a family in rural areas (1369)

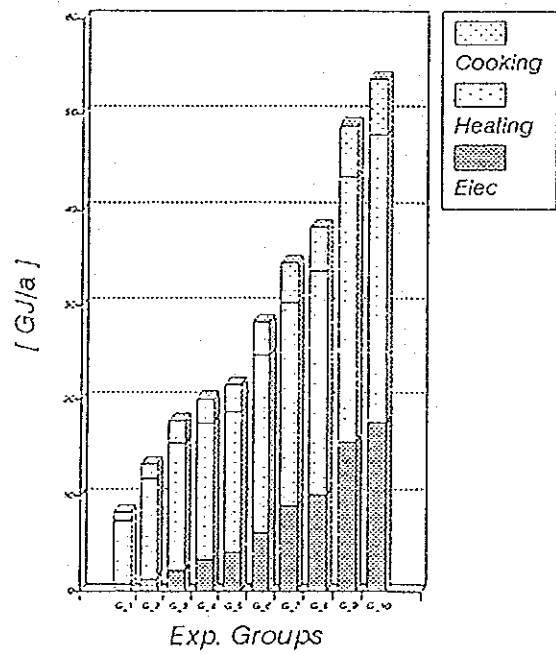


Fig. 3.22: Value-added of industry and GDP in constant prices of 1361

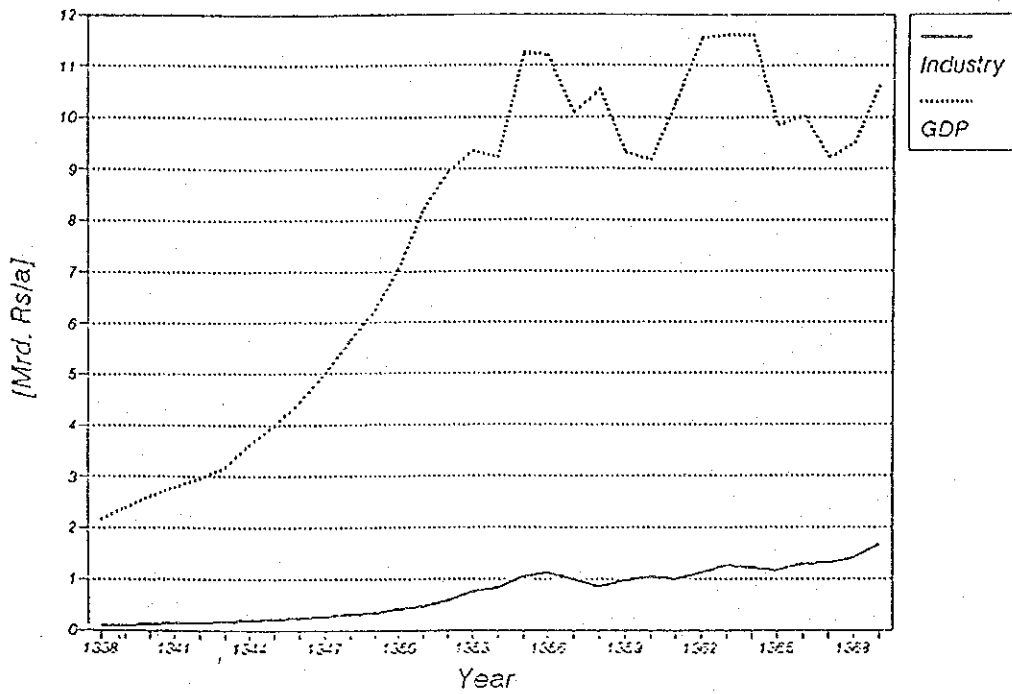


Fig. 3.23: Share of ind. value-added in GDP and GRP at constant prices(1361)

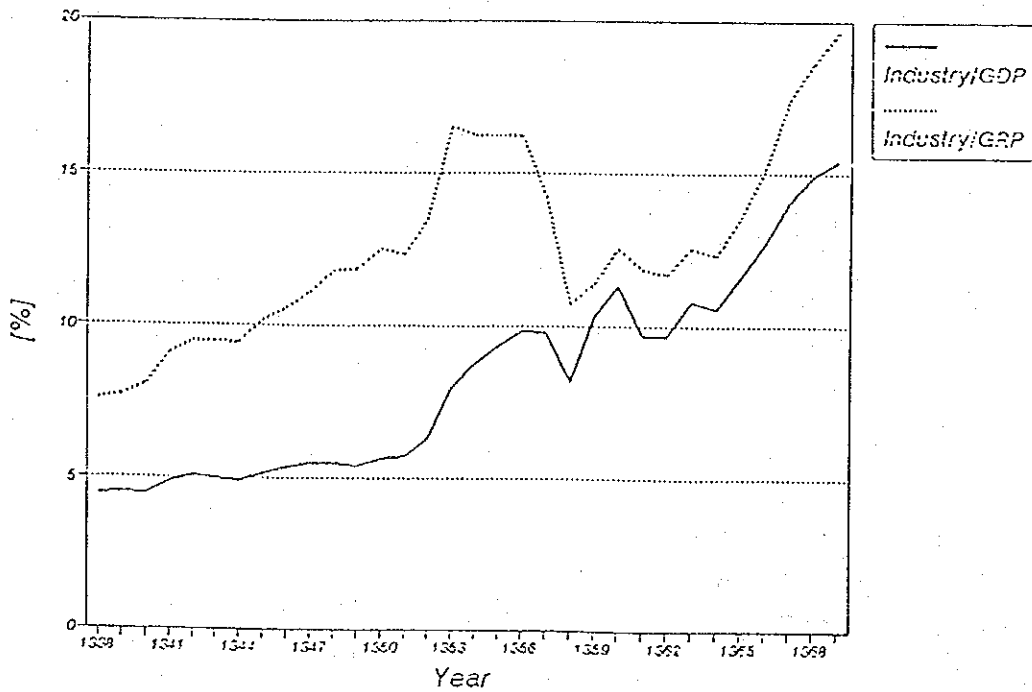


Fig. 3.24: Energy consumption in total of Large industry

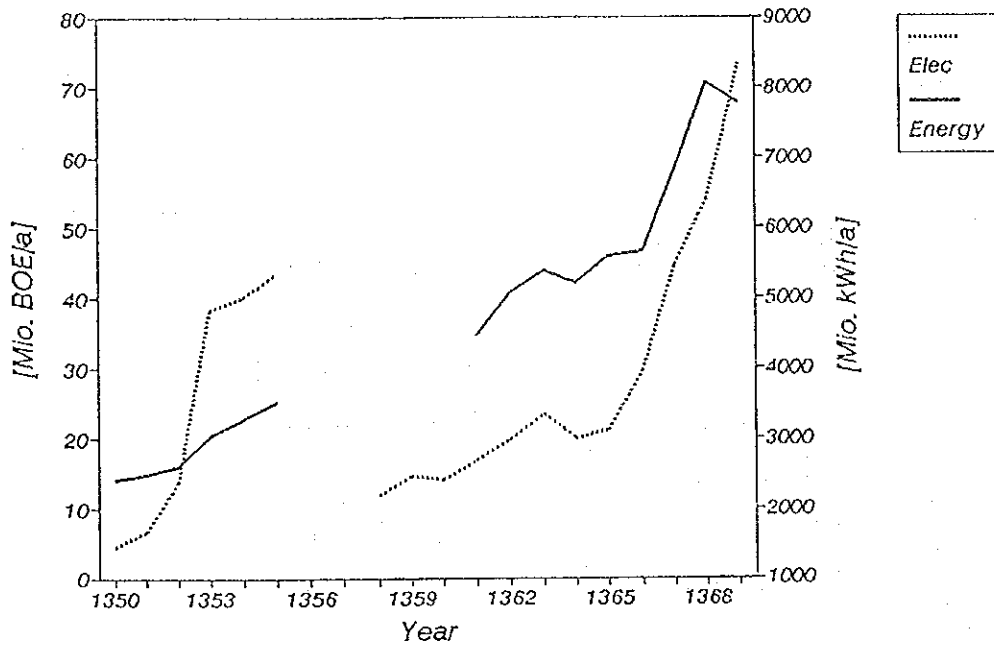


Fig. 3.25: Share of industry in energy consumption

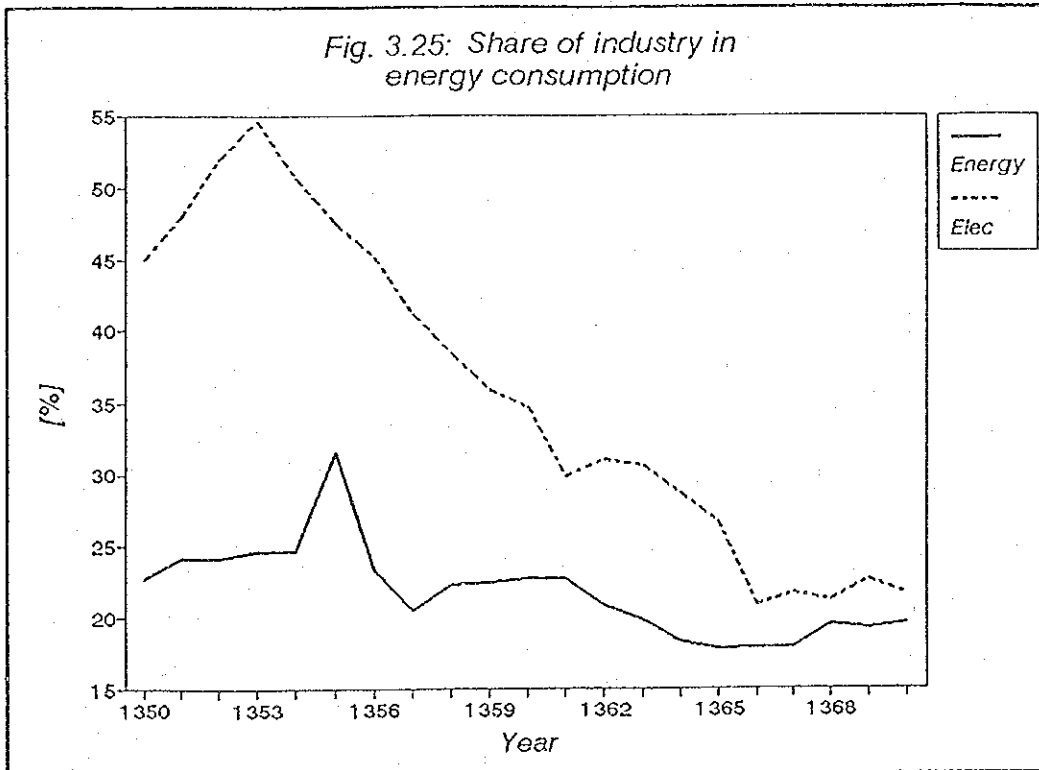
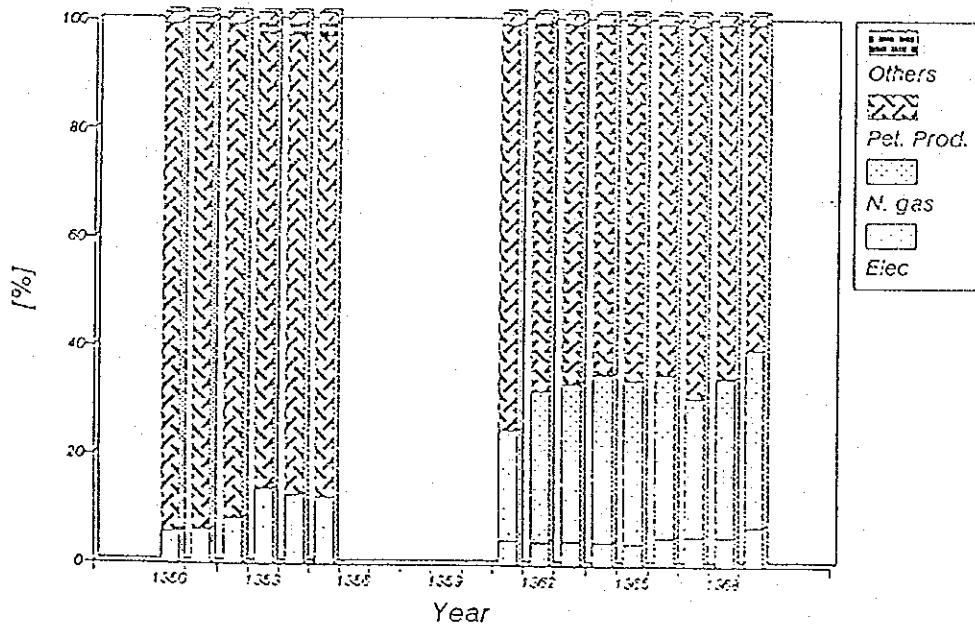


Fig. 3.26: Share of energy carriers in energy consumption of industry



産業の諸分野を分けてみると、非金属鉱物がこの国ではもっとも多くエネルギーを消費する産業分野であることがあきらかである。1971年では大規模産業の最終エネルギー消費の30%以上が非金属鉱物で占められており、これは1990年には40%以上にまで増加している（図3.27参照）。その他の産業分野で大規模にエネルギーを消費するものは、基礎金属と食品・飲料産業であり、産業におけるエネルギー消費の70%以上が上記分野によって占められている。産業分野における生産活動は過去20年間に大きな変革を遂げてきた。産業における付加価値の変動は、1979年のイラン革命とその後のイラン・イラク戦争後の社会的、政治的变化によるものである。エネルギー消費と付加価値の動向をみると、活動水準は数年にわたって減少しているにもかかわらず、近年のエネルギー消費総量は増加傾向をみせている。これはおもに、生産能力が十分に生かされていないことによるものである。この点は、現在の生産能力の過小利用をあらわす指標の動向によって説明される。このために、産業における資本ストックに対する付加価値の割合が算定され、これが生産能力の過小利用を示すものとして使用されている。図3.28において資本ストックに対する付加価値の割合が減少していることが示されている。このような状況は、産業におけるエネルギー・インテンシティを高めることになるのである。

Fig. 3.27: Share of major sub-sectors in the energy consumption of industry

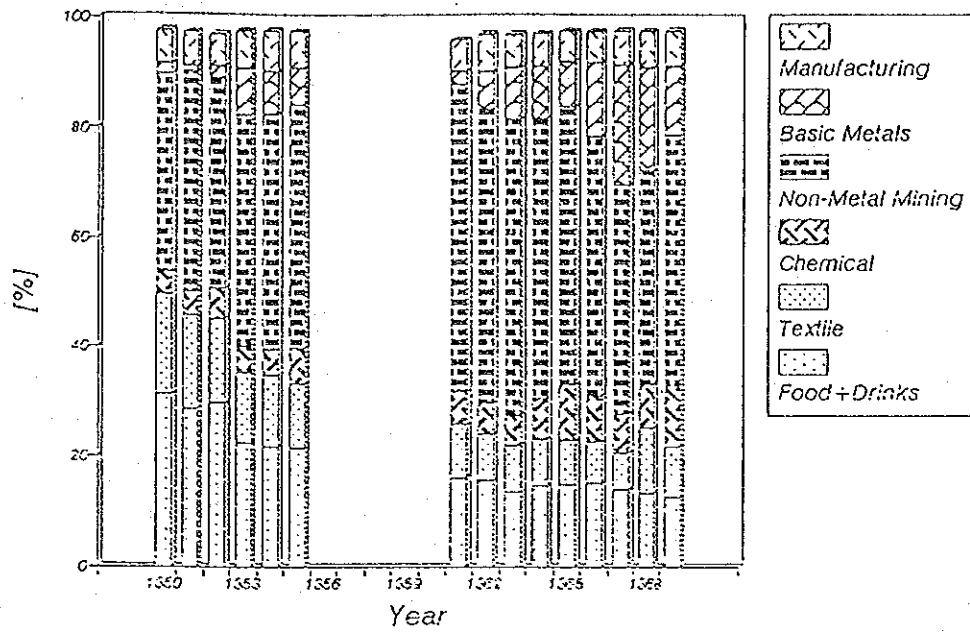
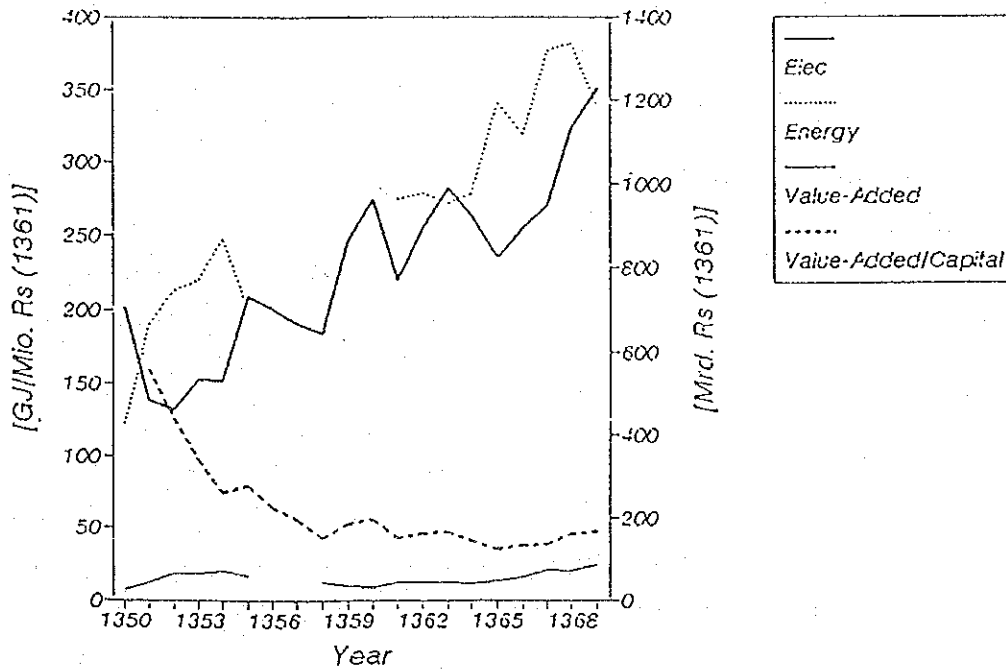


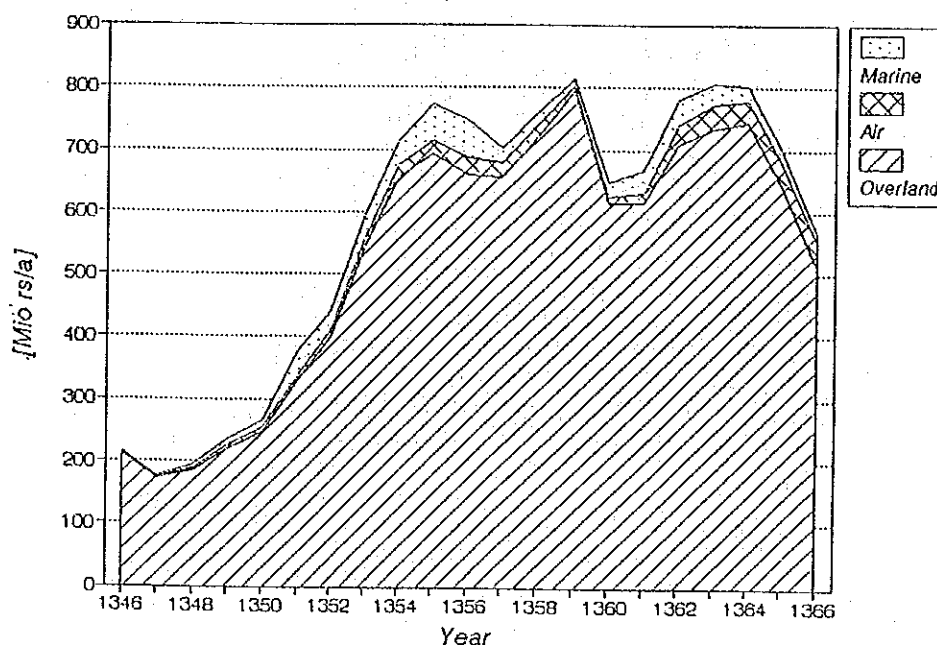
Fig. 3.28: Energy intensity, VA, and capacity factor in total industry



3.2.3 交通・運輸におけるエネルギー消費

交通・運輸セクターは、経済システムの中の重要な要素であり、国の技術的インフラを形成するものである。GDPにおける交通・運輸の占める割合は、1970年では3%をやや上回る程度であったが、70年代にかなり上昇し、1990年には6%を越えるにいたった。図3.29は過去25年間の交通・運輸セクターにおける付加価値の動向を示したものである。この図において、陸上輸送（道路・鉄道輸送）が交通・運輸セクターの活動でもっとも大きな割合を占め、1987年には90%以上となっていることがわかる。

Fig. 3.29: Value added of transport sectors fixed prices of 1361



交通・運輸セクターのおもな下位分類は、旅客輸送と貨物輸送である。旅客輸送活動は1970年から1990年までの期間で4倍以上に増加した。1990年の旅客運送量は1,700億旅客キロメートルであった（図3.30参照）。道路輸送の割合がもっとも大きく、これは自家用車、マイクロバス、バス等で占められている。

貨物輸送も急激な増加傾向を示しており、1970年の190億トン・キロから、1990年には1,000億トン・キロ以上にまで上昇した（図3.31参照）。このうち大部分はトラックで占められている。交通・運輸セクターにおける燃料消費は1970年の年間1,200万BOEから、1990年には7,000万BOEに上昇し、交通・輸送セクターの最終エネルギー消費の半分以上がトラックによるものである。交通・輸送セクターで、その次に最終エネルギー消費の多いのが、自家用車である（図3.32参照）。交通・運輸でのエネルギー消費のおよそ70%がトラックと自家用車によるものである。

Fig. 3.30: Activity level of passenger transport modes

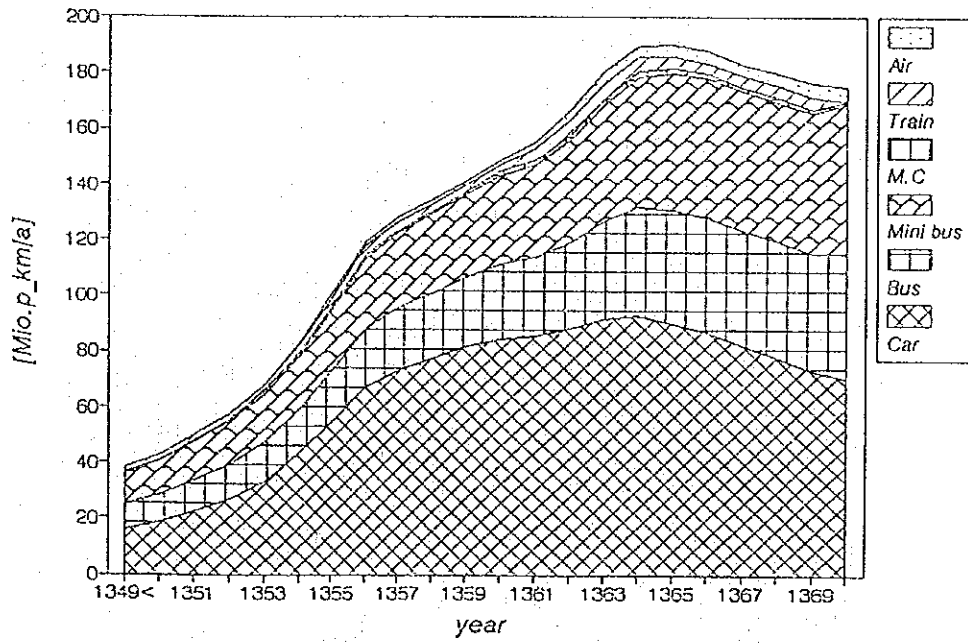


Fig. 3.31: activity of modes in Freight transportation

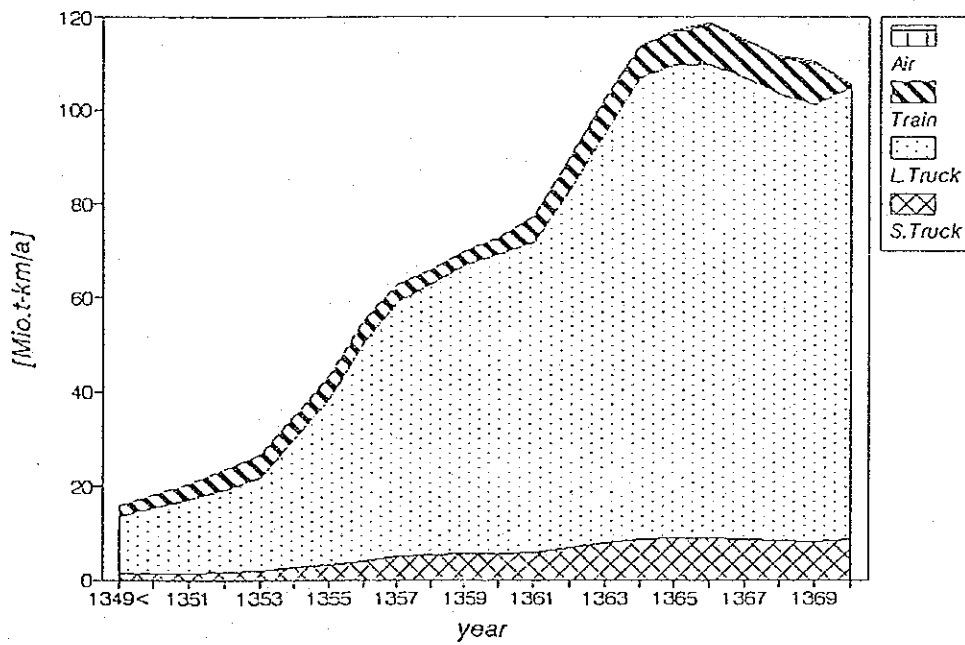
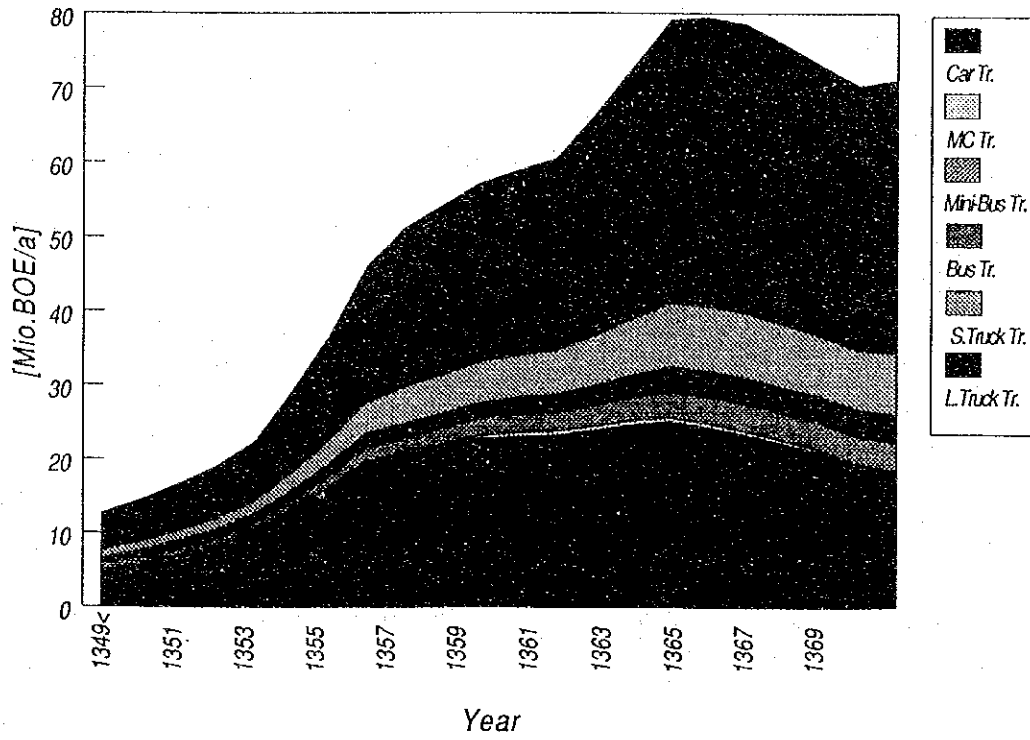


Fig.3.32: Fuel consumption in rail and road transportation



3.3 エネルギー需要分析のためのモデル

3.3.1 エネルギー需要問題

社会・経済構造のさまざまなセクターでの最終エネルギー消費を検討してみると、過去20年間で最も特筆すべきことは、エネルギー消費が上昇傾向にあったことであろう。人口増加、経済成長、国民の生活水準の向上等が、エネルギー需要の伸びを決定する要因であった。

エネルギー消費のパターンを詳細に検討してみると、都市部の家庭が地方にくらべてより多くのエネルギーを消費していることがあきらかである。さらに異なった支出レベルのグループではエネルギー消費にも違いが見られる。高支出グループの世帯では、低支出グループ家庭よりも最終エネルギー消費量が多い。

産業におけるエネルギー消費は、産業構造の変化によって規定されるが、産業界における最終エネルギー消費の70%以上は、基礎金属、非金属鉱物、食品・飲料産業によって占められている。生産部門における設備の過小利用によって、エネルギー・インテンシティにかなりの影響がでている。その結果、エネルギー生産性の減少を招いている。

交通・運輸セクターでは、道路輸送のエネルギー消費がもっとも大きく、鉄道による大量旅客輸送は、このセクターの活動にはあまり大きな割合を占めていない。さらに、自動車生産ラインの近代化の遅れにより、交通・運輸セクターでの最終エネルギーのインテンシティが変わらないという傾向が生じている。

交通・運輸セクターにおけるエネルギー・インテンシティの動向を見ると、交通機関によるエネルギー消費にはほとんど変化がみられないことがあきらかである。図3.33と3.34は交通機関の最終エネルギー消費を示している。この二つの図において、エネルギー・インテンシティの減少はきわめて小さい。自家用車とトラックが主要な交通機関であり、これらのほとんどが国内生産されてはいるが、生産方式の近代化が遅れているため、交通機関の効率には、ほとんど変化が見られないのである。

経済のさまざまなセクターにおけるエネルギー消費を詳細に検討してみると、社会・経済セクターでのエネルギー消費パターンの改善とエネルギー需要の管理が、消費セクターにおいてはもっとも重要な課題である、という結論が導き出される。それゆえ、さまざまなセクターにおけるエネルギー需要の管理をいかに評価するかということと、省エネの可能性を探る努力とが、この国のエネルギー計画のもっとも肝要な課題であるといえる。

Fig. 3.33: Final energy intensity in passenger transportation modes

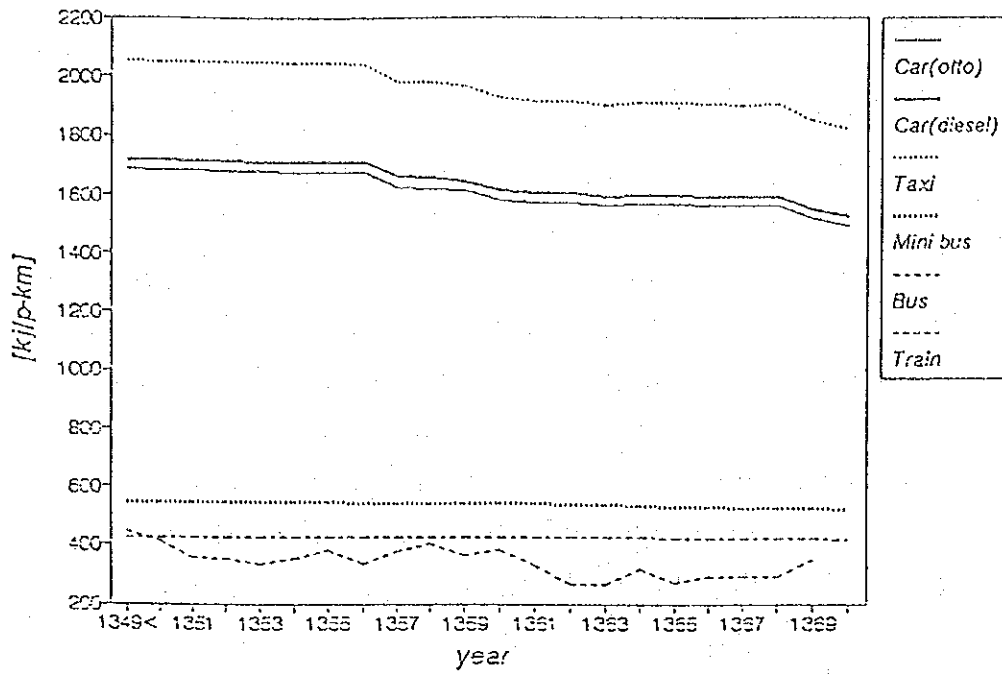
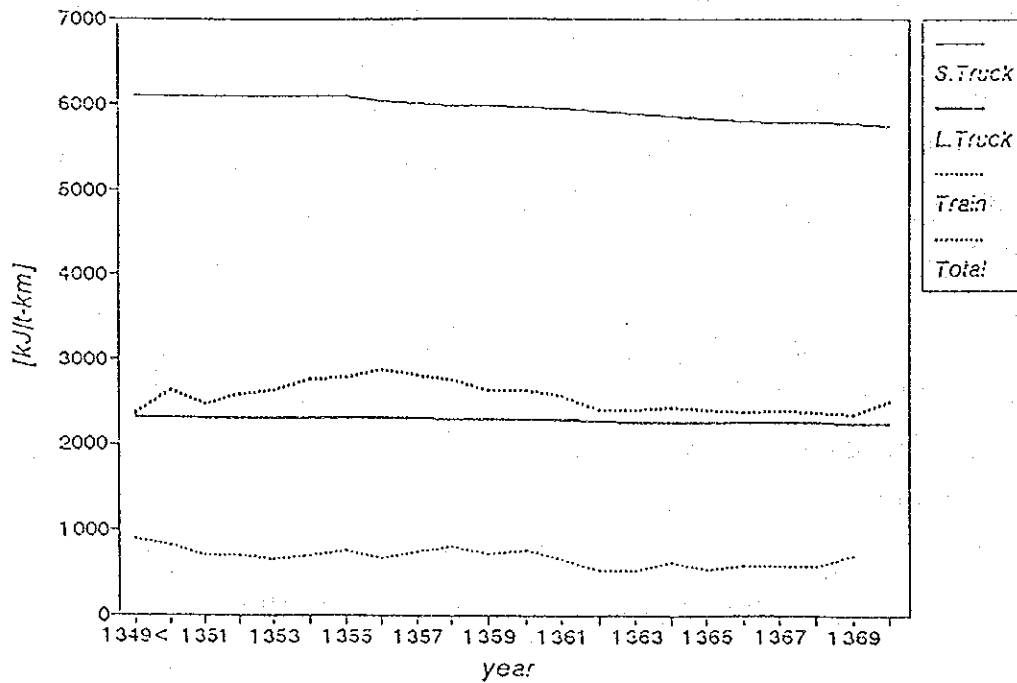


Fig. 3.34: Final energy intensity in transportation sectors



3.3.2 モデルの概要

エネルギー需要モデルとは、エネルギー需要の動向を詳細に分析するための手段である。このような研究は、エネルギー需要に対して技術・経済的要因がどのように影響するかを理解する手助けとなり、これにもとづいて合理的な意思決定がなされうるのである。この目的を達成するためには、分析のための用具が、エネルギー問題を研究する手段を提供しなくてはならない。

エネルギー消費と経済成長の目標の検討にもとづいて、エネルギー需要を調べるために適切な需要モデルが開発された。これが、MADE-II (Model for Analysis of Demand for Energy) である。

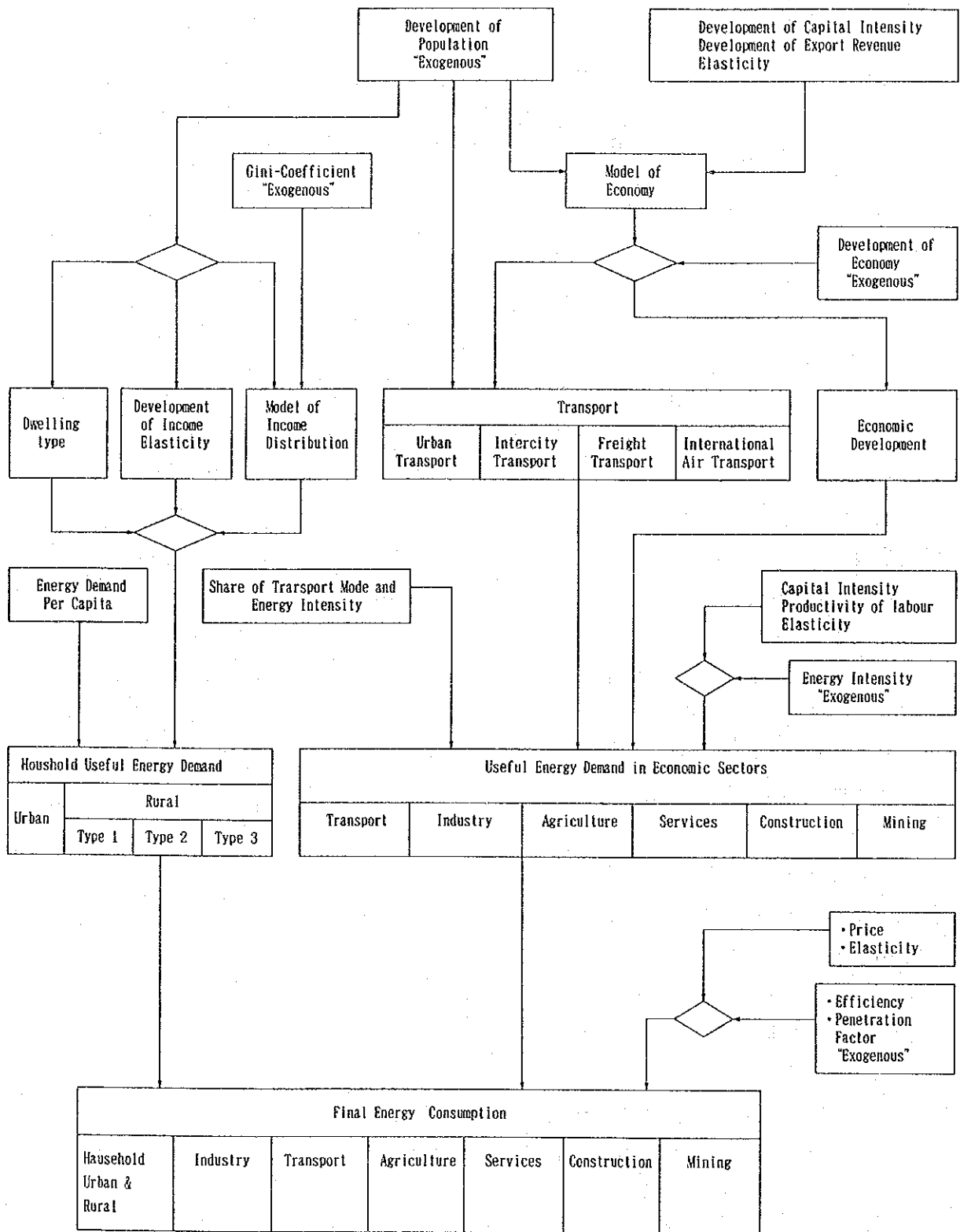
モデルMADE-IIの構造を図3.35に示す。MADE-IIは工学的処理方法にもとづいたシミュレーション・モデルである。それぞれのセクターにおける需要は、それぞれの経済セクターの活動レベルとエネルギー・インテンシティの関数としてとらえられている。経済セクターの活動レベルは、経済成長と経済の構造的な変化をもとにして決定される。この情報は、本報告書の第2章で述べられたマクロ経済モデルを援用して得られたものである。

社会・経済システムのそれぞれのセクターにおけるエネルギー・インテンシティは、外生変数としてとらえられる。エネルギー・インテンシティの動向は、産業と交通・運輸セクターのさまざまな分野のエネルギー消費を詳細に検証することによって、分析が加えられる。このような研究によって、生産・サービスセクターでの主要なエネルギー管理問題が何であるのかを突き止めることができ、またさまざまな技術的、経済的な手段を使って、エネルギー消費パターンを改善するための情報を得ることができる。

家庭におけるエネルギー需要の分析は、人口増加と所得配分ともとづいている。人口の増加は外生変数とみなされ、所得配分は政策関連問題として捉えられている。経済的、社会的な発展の目的が、貧しい家庭の生活状況を改善することにあるとすると、低所得グループから高所得グループへの人口の移動が発生することになる。この過程の結果として、貧しい国民の生活水準が改善され、国民の消費パターンが変化することとなる。そして、家庭におけるエネルギー需要がさらに高まることとなる。

所得配分が家庭でのエネルギー需要に対して及ぼす影響は、モデルMADE-IIの家庭の部分を使って示されることになる。貧窮層の生活水準を改善するという目的が経済・社会的発展の過程で追及されてゆくとときに、このモデルは家庭でのエネルギー需要の上昇を、詳しく検討するための分析手段となるものである。

このように、モデルMADE-IIの特徴は、イラン・イスラム共和国におけるエネルギーセクターの重要な課題とみなされているエネルギー問題を提示していることである。このようなモデルを利用することによって、技術的・経済的変化がエネルギー需要に対して及ぼす影響に関して、情報を得ることが可能となるのである。



◊ Optional Procedure

Fig. 3.35 Structure of Model MADE-II

3.4 エネルギー需要の伸び

エネルギー計画とは、エネルギーの需給バランスの動向に関する情報を集める作業であり、また経済成長をうながし、国民の生活水準を改善するためのものである。そのためには、それぞれの社会・経済セクターでのエネルギー需要を算定する必要がある。その後で必要なエネルギーを供給する手段を、エネルギー供給システムのモデルを使って、研究する必要がある。このために、本研究におけるエネルギー需要の分析は、経済セクターと家庭におけるエネルギー需要の評価に的を絞っている。それゆえ、エネルギー需要を表すものとしての有効エネルギー需要の算定が、本研究の対象となっている。有効エネルギー需要の算定はさらに、さまざまなエネルギー供給策を評価するために、エネルギー供給モデルの中で使われている。そこで以下に、社会・経済セクターにおける有効エネルギー需要の算定の概略を簡潔に示すことにする。

3.4.1 一般家庭における有効エネルギー需要

有効エネルギー需要を検討するために、異なった支出レベルのグループにおける人口の分布が検討される。図3.36と3.37とは、総人口に対する、都市部および地方の異なった支出グループの占める割合を予想したものである。現状において前提となっているのは、貧窮家庭の生活水準の向上を目指すということが、社会的、経済的発展の過程において求められているということである。このような政策を実行した結果、低支出グループの世帯は高支出グループへと移動し、その消費パターンも、現在高支出グループにある家庭の消費と同じようなものとなるであろう。この場合、都市部における個人消費の総額は、1989年の一人当たり170,000リアルから、2021年には340,000リアルにまで上昇する（図3.38参照）。地方における個人消費にはほとんど変化はみられないだろう。これは、一部には地方人口が都市部に流入してくるということに起因している。またこのシナリオにもとづけば、都市部と地方の有効エネルギー需要は、それぞれ1989年には年間100PJ、37PJであったものが、2021年には320PJ、60PJになると予想される（図3.39と3.40参照）。有効エネルギー需要の構造を見てみると、料理・暖房用の熱エネルギーが、一般家庭においてもっとも必要とされるエネルギー形態であることがわかる。

Fig.3.36: Development of Share of Exp. Groups in Urban Pop.

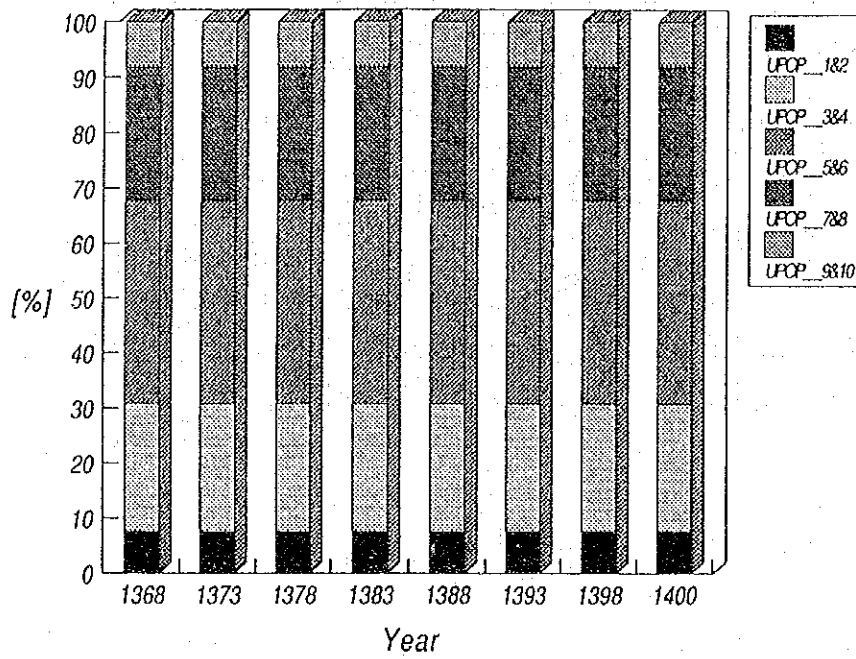


Fig.3.37 :Development of Share of Exp. Groups in Rural Pop.

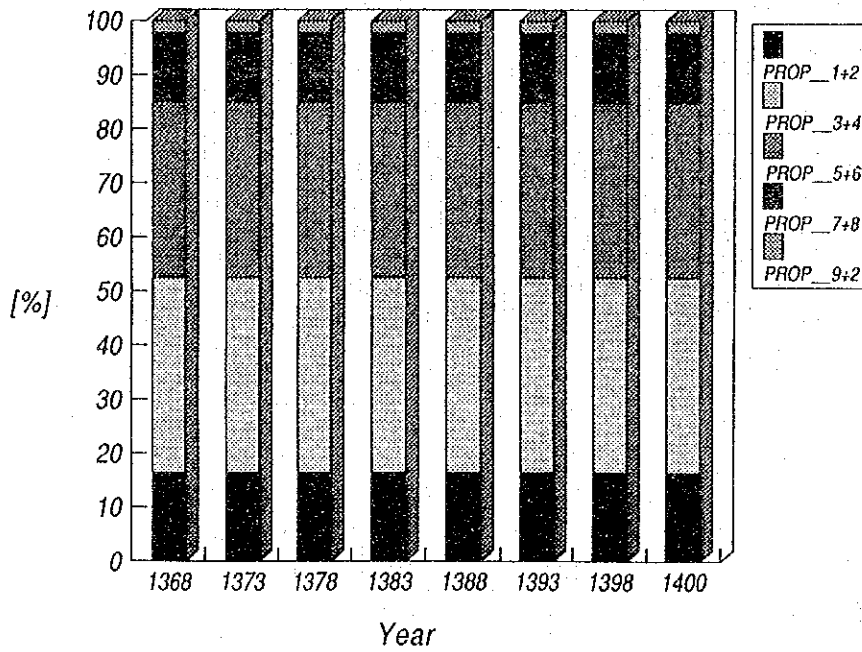


Fig.3.38 :Development of Real Exp.
of Urban & Rural Households

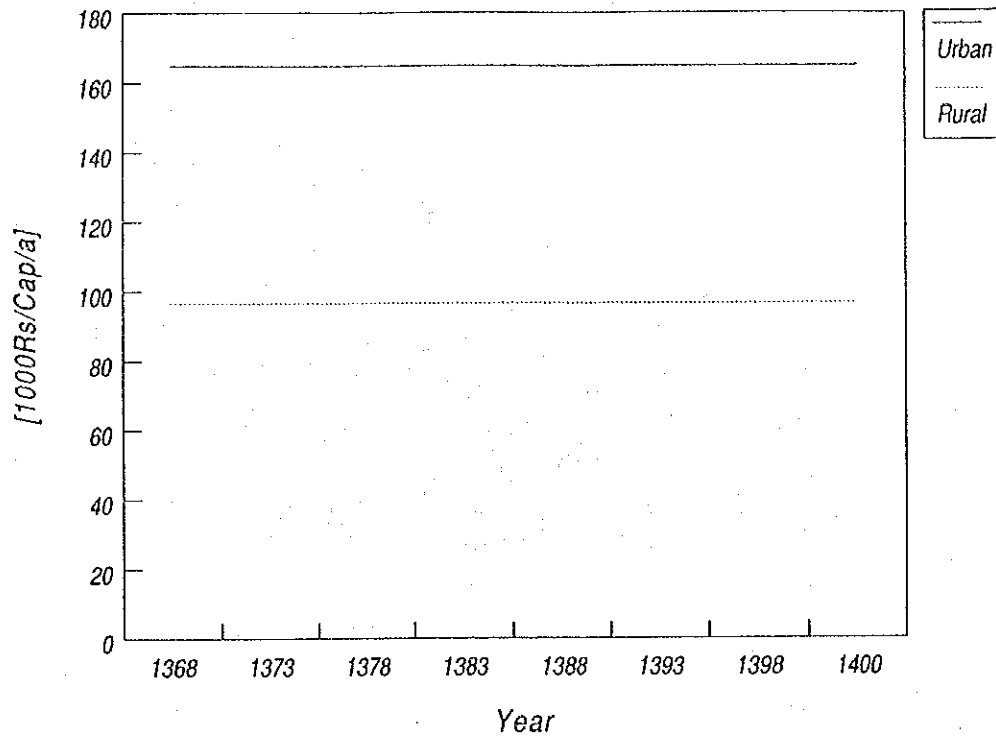


Fig.3.39 :Development of Demand for
Useful Energy in Rural House

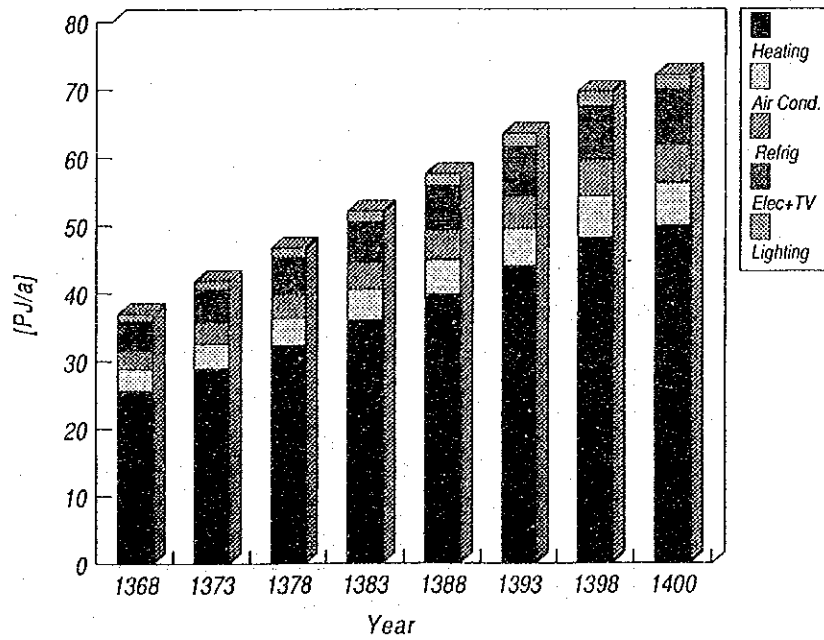
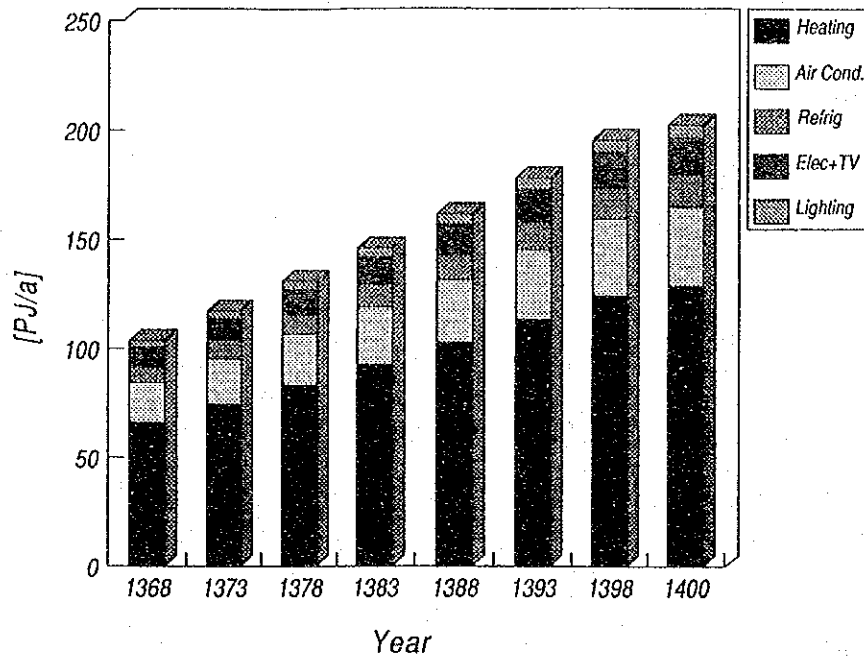


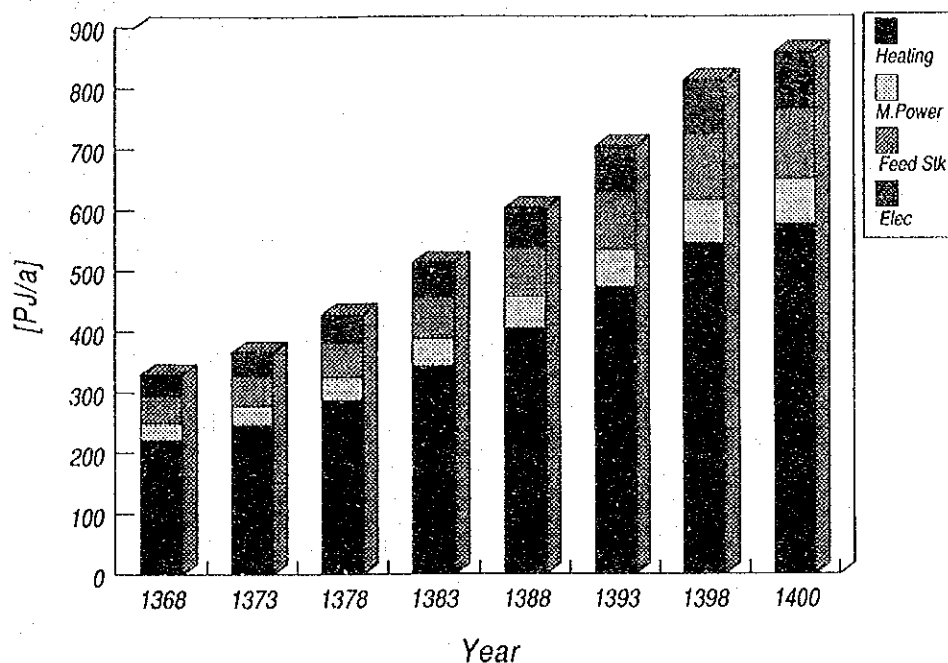
Fig.3.40 Development of Demand for Useful Energy in Urban House.



3.4.2 産業における有効エネルギー需要

産業界で使用されるおもな有効エネルギーの形態としては、プロセス・ヒート、動力、電気機器によって生み出される有効エネルギー等があげられる。電気器具によって生み出されるもの（output）には不確かな部分があり、それに関する信頼できるデータが不足しているため、電気器具によって生み出されるものに必要な電力は、代替不能な電力と呼ばれている。図3.41には、産業セクターでの有効エネルギー需要が示されている。有効エネルギー需要は、1989年の年間600PJから2021年には2,000PJにまで上昇する。産業分野の有効エネルギー需要の中でもっとも大きな割合を占めるのが、産業用プロセス・ヒートである。次に有効エネルギーの中で大きな割合を占めるのが動力であり、これはさまざまな過程において機械的エネルギーとして生み出されるものである。一方、代替不能電力は産業界における有効エネルギー需要総量の一割にも満たない。

Fig.3.41 :Development of Demand for Useful Energy in Industry



3.4.3 交通・運輸における有効エネルギー需要

交通・運輸セクターにおける有効エネルギー需要は、三つの下位区分に分けて検討がおこなわれた。すなわち、都市部の旅客、都市間交通、貨物である。この下位区分に関して、異なった交通モジュールが明確に示されている。このようにして、交通・運輸セクターにおける構造上の変化が有効エネルギー需要に及ぼす影響を検討することが可能となるのである。図3.42, 3.43, 3.44は、都市部旅客、都市間旅客、貨物という異なった下位区分における有効エネルギー需要の動向を示したものである。都市部の旅客輸送においては、自家用車が70%を越える割合を占めている。都市間の旅客輸送においては、大型および小型のバスが優勢となり、この下位区分での有効エネルギー需要に対する割合は、1989年の60%から、2021年には70%程にまで上昇する。貨物輸送は道路輸送が基本であり、トラックが主要な輸送手段となっている。

Fig.3.42 Development of Demand for Useful Energy of UP__Trans.

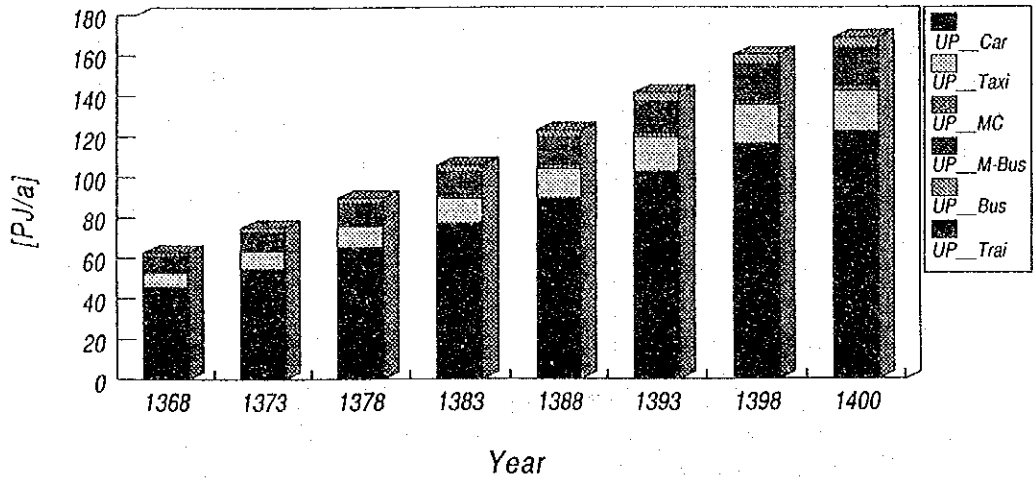


Fig.3.43 Development of Demand for Useful Energy of IP__Trans.

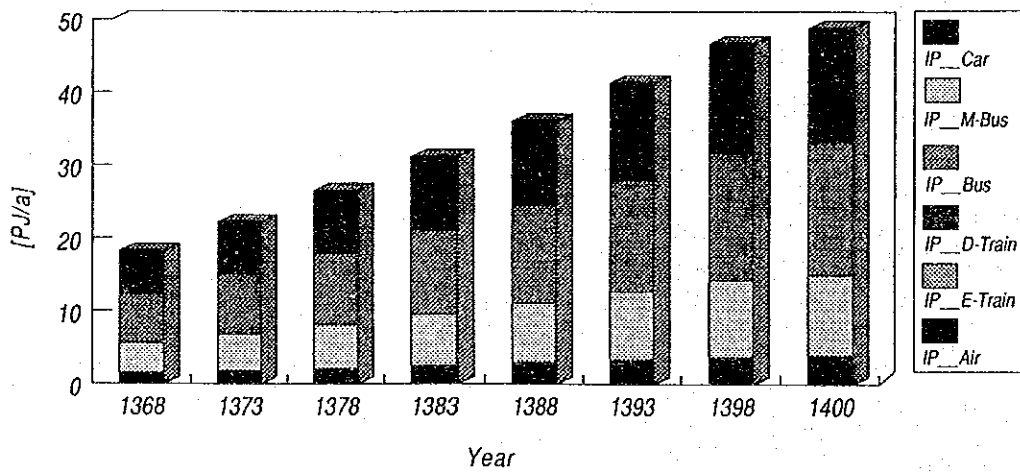
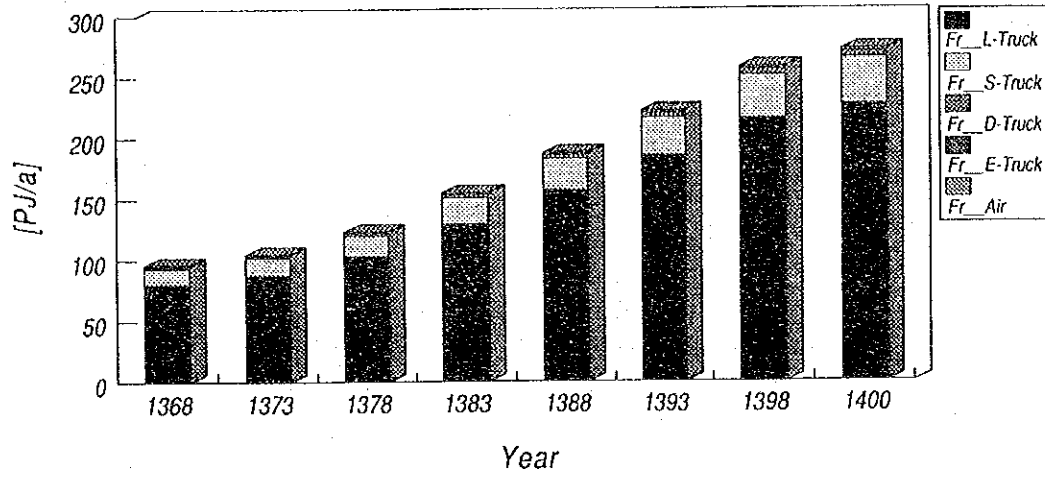


Fig.3.44 Development of Demand for Useful Freight Trans.



4. エネルギー供給システムの発展

4.1 はじめに

経済発展について分析し、異なる社会、経済部門における有効エネルギー需要の動向を検討した後、取組まなければならない重要な問題は、推定された有効エネルギー需要をまかなうためのエネルギー供給システムの構築であった。この目的に向け、本章ではエネルギー供給システム発展について概略を述べることにする。まず、エネルギー供給モデルおよび分析的アプローチの概略について説明する。その後、本調査の枠組みおよび主要シナリオ（複数）の構成について述べる。本章の最後の節では、この分析の主な調査結果について論じることとする。

4.2 モデルおよび方法論

4.2.1 基本的なアプローチ

エネルギー供給について分析する目標は、長期に亘るエネルギー供給システム構造の発展に関する情報を収集し、エネルギーの処理、転換、および輸送のための適切な技術を評価することである。本調査の過程で、エネルギー・システムのサブセクター間の相互作用について分析が行われ、環境とも相容れる、最適な、経済的なエネルギー供給システムの発展について調査が行われる。

エネルギー供給の分析は、異なる処理および転換の段階を通ずるエネルギーの流れ（フロー）の評価に基いて行われるものであり、レファレンス・エネルギー・システム（RES）に基礎を置くことになる。RESは、エネルギー処理および転換の様々な段階を通じて異なるエネルギーの流れを表すネットワークの形式で示される。

4.2.2 エネルギー供給モデル

エネルギー供給システムの最適な発展については、MESSAGE-III (Model for Energy Supply Strategies and their General Environmental Impact) というモデルの助けを借りて研究されることになる。このモデルは、統合された地域エネルギー供給システムを表しており、線形および非線形プログラミングに基づくダイナミック・システムである。このモデルの助けを借りると、エネルギーの処理、転換、および輸送の技術の最適組合せを明確化することができる。このモデルは、また、代替的なエネルギー供給戦略の影響を推定し、エネルギー供給システムと環境との互換性を評価する手段も提供する。

図4.1は、MESSAGE-Ⅲのモデルで示される異なるレベルのエネルギー供給システムを示している。

本調査の枠組みの中でMESSAGE-Ⅲのモデルを適用するために必要な情報は、以下のとおりに要約することができる。

a) 一般情報

(主要情報には、基準年度、期間の数、各期間の長さ、地域の数、エネルギー・レベルの定義、各レベルのエネルギーの定義が含まれる。)

b) エネルギー需要に関する情報

(必要とされる主要情報は、エネルギー需要レベルの定義、各エネルギーごとの供給地域の定義、各地域のエネルギー需要)

c) 目的関数

(目的関数は、総費用を最小に抑えること、環境汚染を最小に抑えること、あるいは、これらの基準の組合せと定義することができる。)

d) 利用者が定義する関係

(特定の関係については、このモデルを利用する者が定義することができる。)

e) 技術に関する情報

(技術の入出力エネルギー、これら技術の効率、工場の寿命、工場の稼働率、技術の固定費用および可変費用、汚染物質排出量、ならびに技術利用に関する制約)

f) 貯蔵技術に関する情報

(入出力エネルギー、システムの効率、エネルギーが貯蔵される期間、エネルギーが採取できる期間、工場の寿命、工場の稼働率、固定費用および可変費用、ならびに制約)

g) エネルギー資源に関する情報

(一次エネルギーの埋蔵量、世界のエネルギー価格、異なる等級のエネルギーの採取技術の固定費用および可変費用)

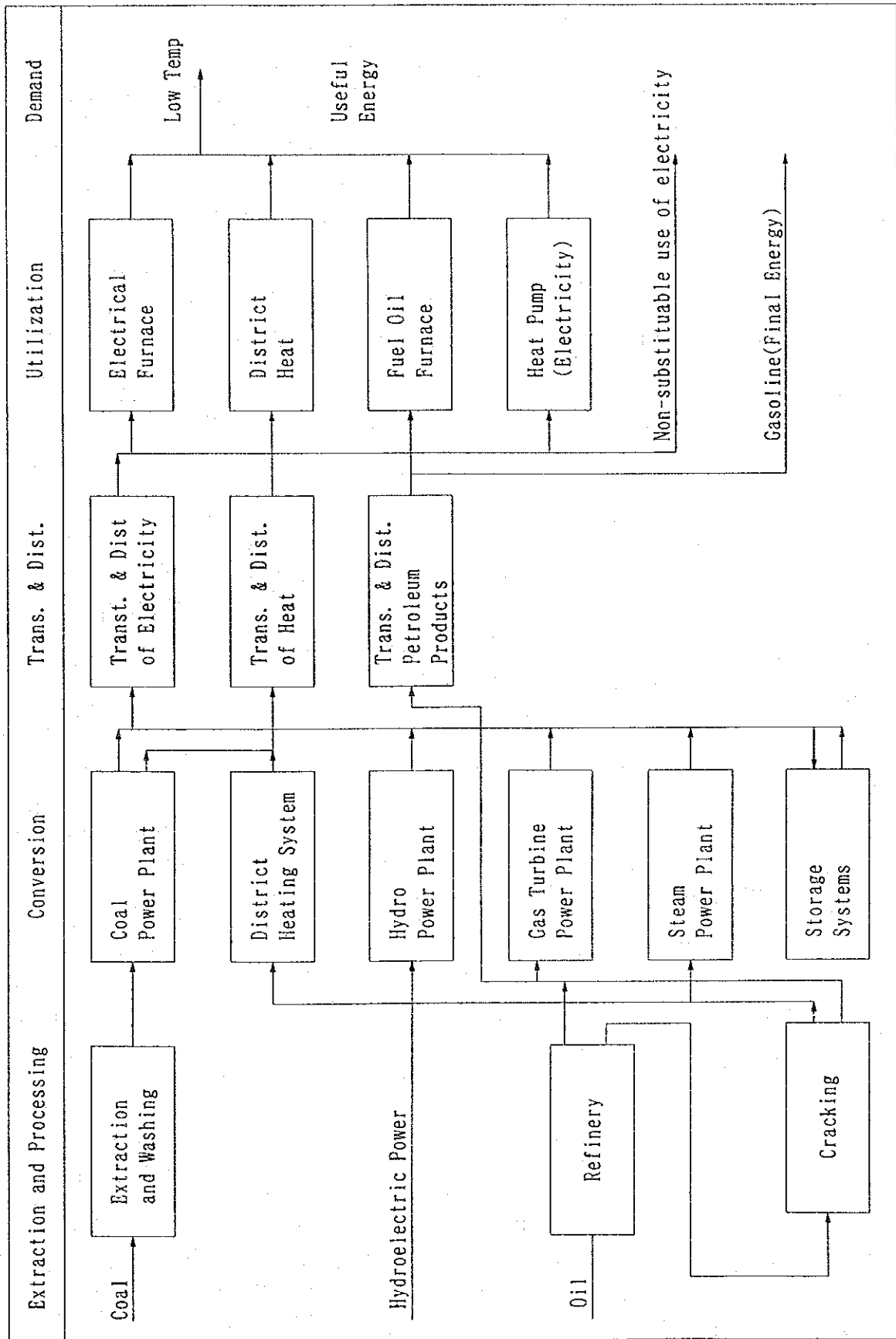


Fig. 4.1 Representation of Energy Supply System in Model MESSAGE-III

4.3 シナリオの構成

エネルギー供給システム発展の主要な決定要因は、有効エネルギー需要の動向、国際市場におけるエネルギー価格、エネルギー輸出、ロード・マネジメント、エネルギー効率の改善、汚染物質の排出のコントロールなどである。上記要因に関する様々な仮説を組み合わせ、展開し、シナリオのセットを構築する。これらシナリオの助けを借りて、経済およびエネルギー市場の変化がこの国のエネルギーのバランスに与える影響が評価される。

エネルギー供給シナリオの構成は、図4.2に示すとおりである。考慮される4つの主要シナリオは、基準（レファレンス：REF）、基礎（ベース）、低成長（ロー）、および高成長（ハイ）の各シナリオである。これらのシナリオは、経済成長と有効エネルギー需要の主要なケースをエネルギー管理、エネルギー輸出および環境汚染に関する異なる想定と組合せたものである。これらのシナリオのエネルギー供給システムの分析結果について、以下に簡単に説明する。

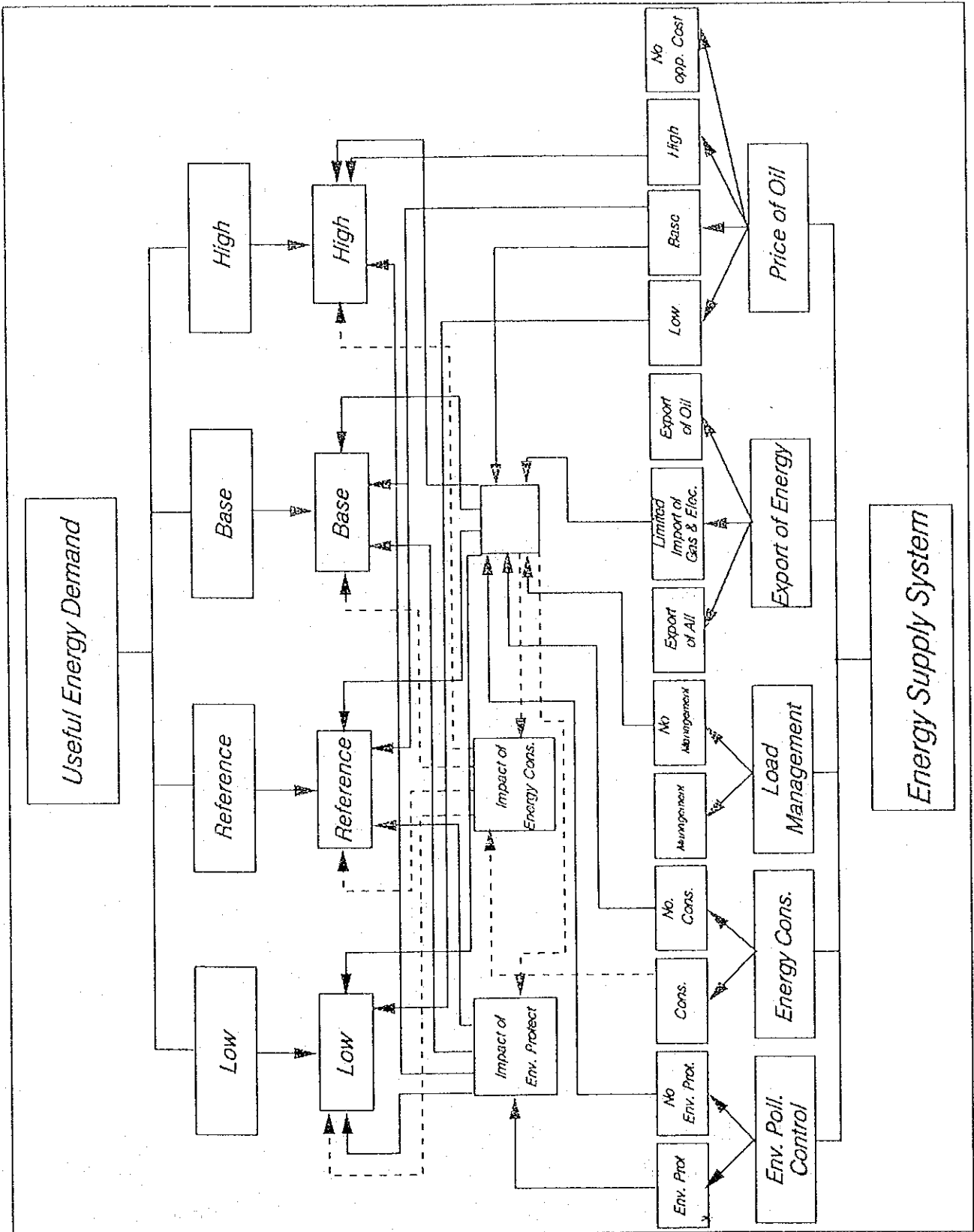


Figure 4.2 Structure of Scenarios of Energy Supply

4.4 基準（REF）シナリオにおけるエネルギーの流れ

基準シナリオの場合、一次エネルギーの生産は、1994年の1,806.5MBOE/aから1999年の2,064.4MBOE/aおよび2021年の2,003.3MBOE/aへと上昇する。一次エネルギーの生産には、原油、天然ガス、石炭および水力発電が含まれる。1994年の総一次エネルギー生産における石油のシェアは70%である。これは、1999年には70.8%へ上昇し、さらに2021年には67.1%へと減少する。原油の輸出は、原油の用途の重要な側面である。2010年以降、石油の国内消費レベルは、原油の輸出レベルに近づく。

主要一次エネルギー源として、原油の次に来るのが天然ガスである。一次エネルギーの生産における天然ガスのシェアは、1994年の28.0%から2010年の25.7%へと減少し、さらに2021年には26.5%へと上昇する。

水力発電は、1994年の総一次エネルギー必要量の0.7%であり、2021年には4.7%に達する。

(1) 二次エネルギーの生産

二次エネルギーは、製油所、発電所および処理システムで生産される。石油製品の生産は、1994年の344.0MBOE/aから1999年の445.7MBOE/aおよび2021年の880.4MBOE/aへと増加する。これは、1994~1999年の期間および1999~2021年の期間のそれぞれの5.31%および3.14%の平均年間成長率に当たる。石油製品の生産における中間溜分のシェアが上昇する（図4.3参照）。輸送において軽油の消費が増加するために、そのシェアが増加し、家庭部門では灯油が天然ガスに代わる。

天然ガスの生産は、1994年の332.3MBOE/aから1999年の374.9MBOE/aに増加し、それから2004年には329.4MBOE/aへ減少する。低品質ガスの生産は、2021年には354.6MBOE/aのレベルに達する。

図4.4で分かるように、火力発電所の燃料消費は、1994年の142.3MBOE/aから1999年の166.2MBOE/a（平均年間成長率3.2%）および2021年の204.8MBOE/a（平均年間成長率1.72%）へ増加する。発電所の重油の消費は、今後5年間に年間2.4%の率で減少し、それから4.4%の率で上昇する。発電所の燃料消費における重油のシェアは、1994年の41.4%から1999年の31.4%へと変化する。2000年以後は、発電所の燃料消費に重油が寄与することで、2021年には66.2%へと上昇する。火力発電所の燃料消費における天然ガスのシェアは、1999年には63.7%に達し、それから2021年には9.7%へと下降する。

発電量は、1994年の78.9GWh/aから1999年の95.5GWh/aへ上昇する。発電量の上昇傾向は、2021年まで続き、2021年には166.8GWh/aに達する。1994~1999年の期間および1999~2021年の期間の発電の平均年間成長率は、それぞれ3.8%と2.6%となる。発電における水力発電所のシェアは、1999年には7.9%に達し、2014年には33.7%へ上昇し、それから2021年には31.4%へと減少する。

Fig. 4.3 Production of Petroleum Products

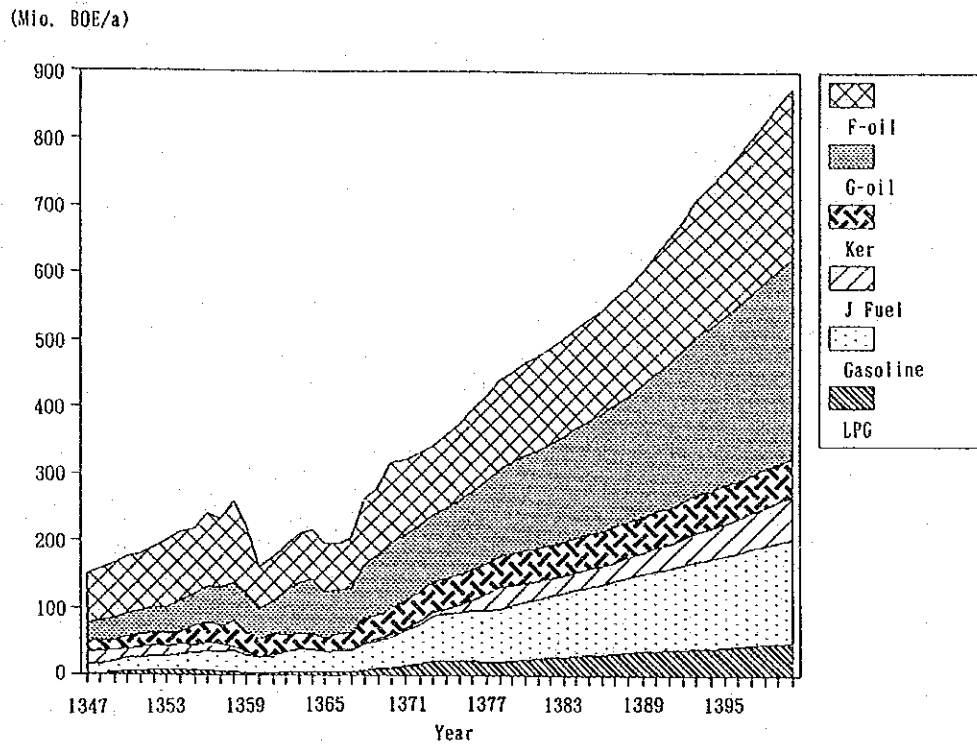
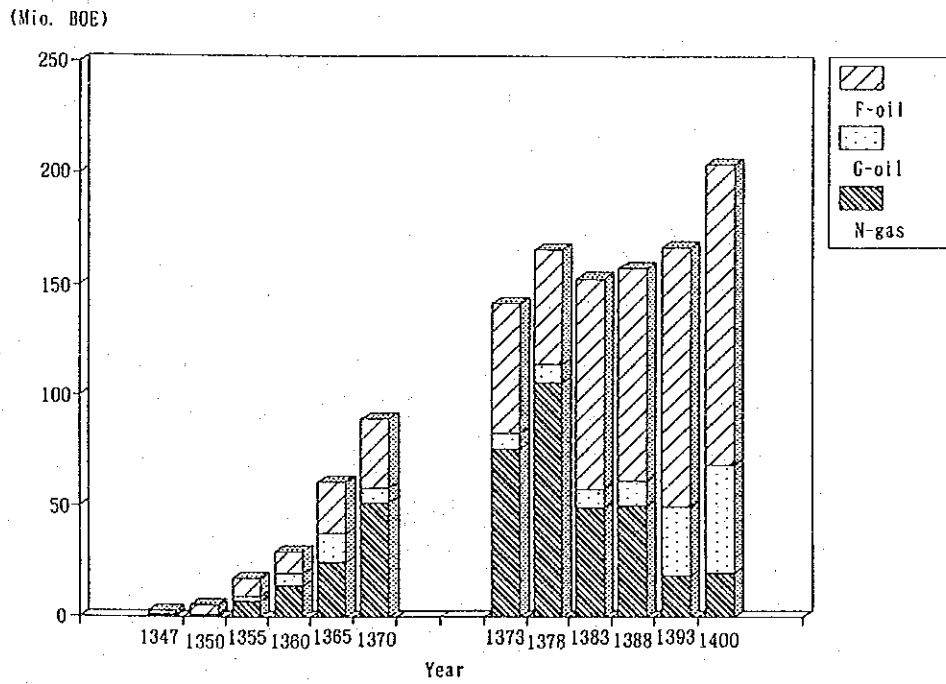


Fig. 4.4 Fuel Consumption of Thermal Power Plants



(2) 処理システムの能力

製油所の拡張は、蒸圧蒸留装置の能力が、1994年の389mio. bl/aから2021年の1,000 mio. bl/aへ増加し、その伸び率は、1994～1999年の期間と1999～2021年の期間にそれぞれ8.0%/aと2.6%/aとなることを示している。

発電所の能力は、今後5年間は3.8%の平均年間伸び率で、1999～2021年の期間は1.3%で上昇する。発電総能力は、2021年には39,934MWに達する。今後30年間に発電所の技術の組合せが変化し、汽力発電所およびガス・タービンの容量が減少し、コンバインド・サイクルの発電所に代わることになる。コンバインド・サイクル発電所の能力は、1999年の1,039MWから2021年の11,542MWへ上昇する。これは、1999～2021年の期間の年間平均成長率11.6%にあたる。

工業における自家発電によって、国の電気システムが補われ、その容量は、1994年の2,377MWから2009年の3,134MWへと上昇し、それから全国の高圧送電線網が拡大するために、2021年には869MWへ減少する。1999年には水力発電所の容量は3,936MWに上昇し、その上昇傾向は2021年に13,076MWに達するまで継続する。

電気システムの供給予備電力幅は30%と考えられ、そのうち10%が、スピニング供給予備電力とされる。発電所の利用時間は、1994年には3,140h/aであるが、これは、1999年には3,147h/aに、2021年には4,177h/aへと上昇する。

(3) エネルギー輸出

エネルギー輸出は、1994年には898.2MBOE/aで、1999年には1,017.1MBOE/aに上昇する。2000年以降は、原油輸出の下降傾向が見られ、2021年には447.4mio. bl/aまで減少する。石油製品の輸出は、1999～2021年の期間に4.1%の年間成長率で増加し、2021年には65.6 MBOE/aに達する。

(4) 最終エネルギー消費

図4.5には、最終エネルギー消費部門のシェアが示されている。輸送部門の最終エネルギー消費の年間成長率は、人口増加と経済開発の影響を受けて最大となる。商業および家庭での最終エネルギー消費の拡大は、他の部門より遅くなる。この状況の結果、最終エネルギー消費において、工業および輸送部門のシェアが増加する。

Fig. 4.5 Share of Sectors in Final Energy Consumption

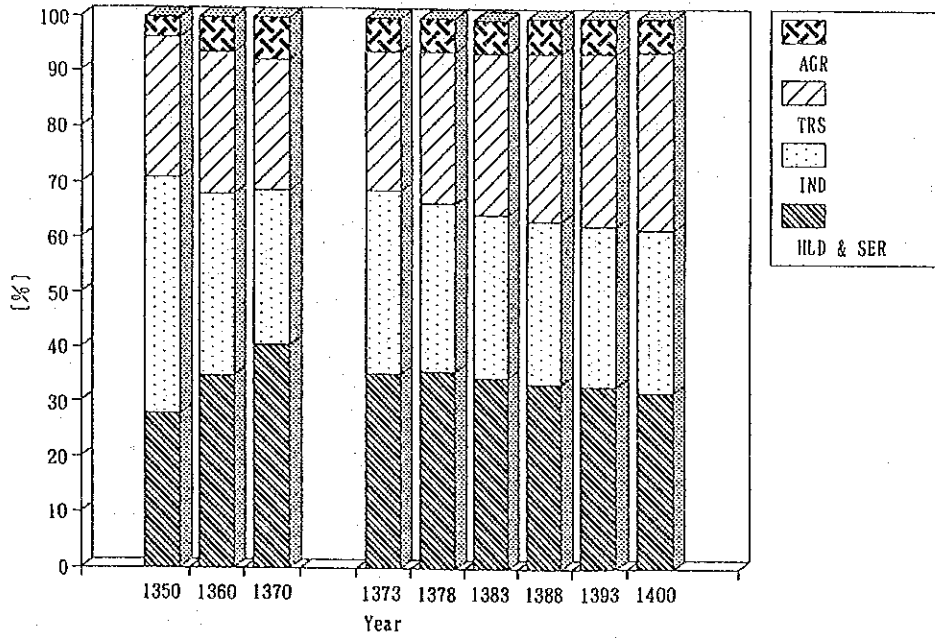
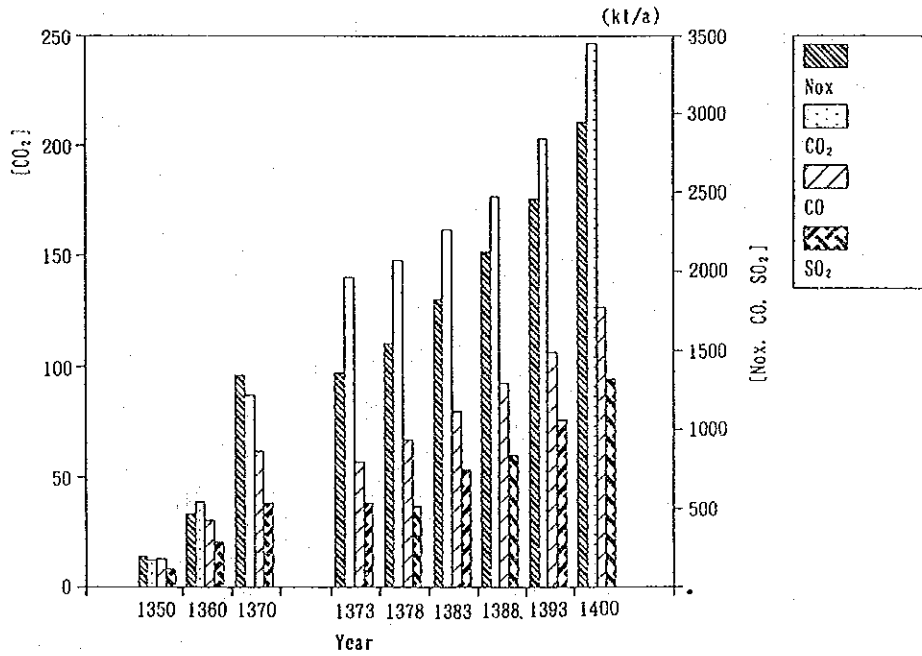


Fig. 4.6 Emission of Pollutants in I.R. Iran



(5) 汚染物質の排出

ここで検討された主要環境汚染物質は、CO、CO₂、SO₂およびNO_xである。COの排出は、主として輸送部門で生じ、1994年の793kt/aから1999年の936kt/aおよび2021年の1,777kt/aへと上昇する。CO排出の平均年間伸び率は、1994～1999年の期間と1999～2021年の期間ではそれぞれ3.4%と3.0%である(図4.6参照)。CO₂の排出も上昇傾向を示し、1994年の140.0mio. t/aから2021年の246.0mio. t/aへと拡大する。

NO_xおよびSO₂の排出も同様に増加する。排出されるNO_xの量は、1994年の1,354kt/aから2021年の2,946kt/aへ上昇し、SO₂の排出は、2021年には1994年のレベルの2.44倍、541kt/aに達する。SO₂およびNO_xの排出が急増するのは、エネルギーの生産および消費における石油製品のシェアが高くなるためである。

(6) エネルギーに対する補助金支給の影響

商業エネルギーは、エネルギーの限界費用よりかなり低い価格で最終消費者に供給されている。

ただし、前の節のエネルギーの分析は、すべてのエネルギーが、長期的には限界費用と同じ価格で最終消費者に届けられるという事実に基づいていた。ここで根本的な問題は、エネルギーにさらに補助金を支給する場合、エネルギー・システム発展に与えるその影響はどうかという問題である。この問題については、エネルギー供給モデルの助けを借りたシナリオの枠組みの中で研究された。

エネルギーに対して補助金支給を継続するケースでは、一次エネルギー必要量は、1994年の968.7MBOE/aから1999年の1,669.5MBOE/aおよび2021年の2,238.1MBOE/aへと上昇し、その平均年間伸び率は、1994～1999年の期間と1999～2021年の期間ではそれぞれ11.5%と3.8%となる。エネルギーへの補助金支給によって、1994年および2021年には、それぞれ基準シナリオの場合の一次エネルギー必要量より97%および58.8%高い一次エネルギー消費となる状況が生じる。

4.5 原油の機会費用

基準シナリオでは、地下の原油の機会費用をゼロとしていた。他のシナリオでは、地下の原油の価格は国際市場の石油の価格の70%となると仮定している。この場合、原油の生産は、1994年の1,195.4mio. bl/a(基準シナリオでは1,264.8mio. bl/a)から1999年の1,329.3mio. bl/a(基準シナリオでは1,462.4mio. bl/a)に上昇する。それから、2021年には、999.1mio. bl/a(基準シナリオでは1,344.7mio. bl/a)に減少する。原油の機会費用を考慮すると、石油の国内消費は、1999年までの期間と2021年までの期間には、それぞれ14.2%と19.5%だけ減少する。しかし、基準シナリオの量と比較する場合、天然ガスの消費は、1999年と2021年までに、それぞれ16.3%、52.1%上昇する。

4.6 エネルギーの合理的利用の可能性

エネルギー供給モデルの助けを借りて、エネルギーの合理的利用、および特に省エネルギーについて予測したが、その結果の概要をごく簡単に示すことにする。

(1) 家庭部門

家庭用機器の効率が高まることで、一般的なエネルギー消費と、特に電気の消費が減少することになる。図4.7から分かるように、基準シナリオと比べて、2021年には、エネルギー管理に助けられて、家庭における最終エネルギー消費は33.2%だけ減少する。

(2) 商業およびサービス部門

基準シナリオおよびエネルギー管理のケースにおける商業およびサービス部門の最終エネルギー消費の展開傾向を比較すると、この部門の最終エネルギー消費が、1999年までの期間および2021年までの期間では、それぞれ19.3%および44.05%だけ減少する可能性があることが分かる。

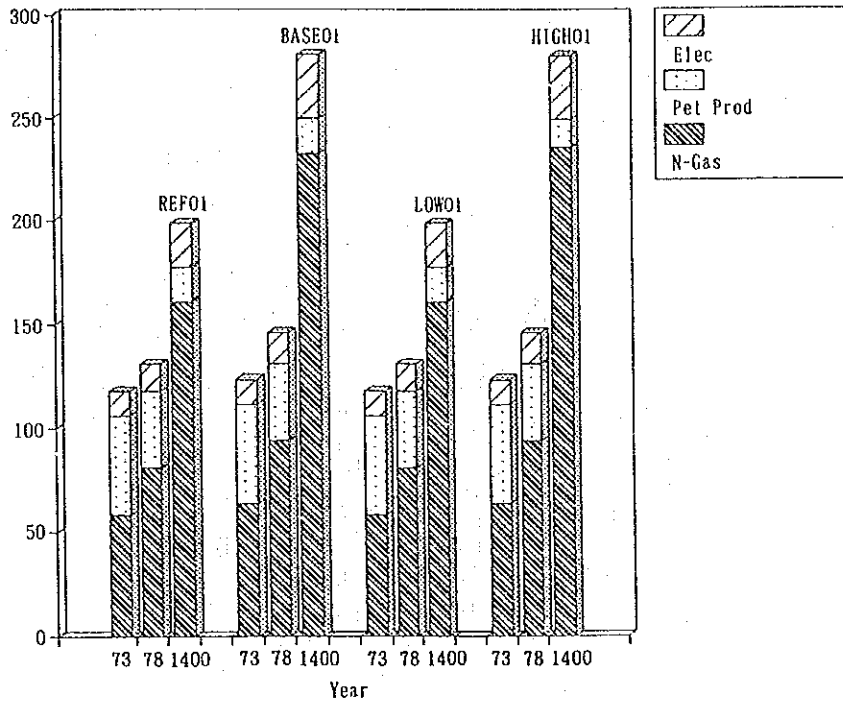
(3) 工業

基準、基礎、高成長の3つのシナリオにおける基礎ケースの工業部門の最終エネルギー消費を、エネルギー管理ケースの結果と比較すると（図4.8参照）、省エネルギーのかなりの可能性があることが分かる。省エネルギーの可能性は、1999年および2021年までに、それぞれ4%および21%以上となることが予測される。

(4) 輸送部門

輸送部門におけるエネルギーの合理的利用の可能性を分析すると、輸送システムの保守を改善し、大量輸送のシェアが増加するように構造を変化させ、さらに、エンジン効率を改善して、自動車のエネルギー・インテンシティを引下げることによって実現される省エネルギーの可能性は大きいことが分かる。輸送部門における長期の省エネルギーの可能性は30%以上である。

(kBOE/a)



(kBOE/a)

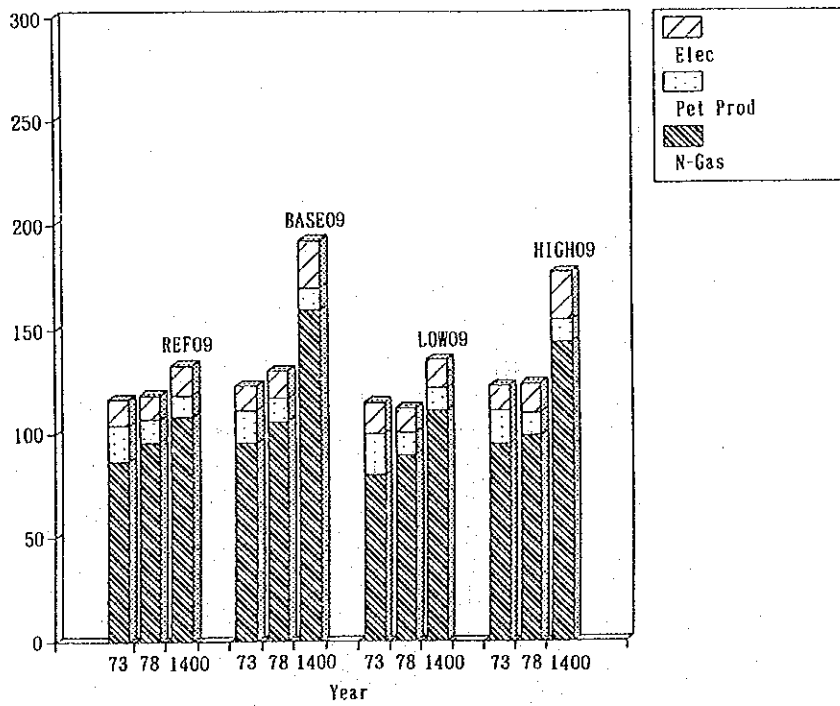
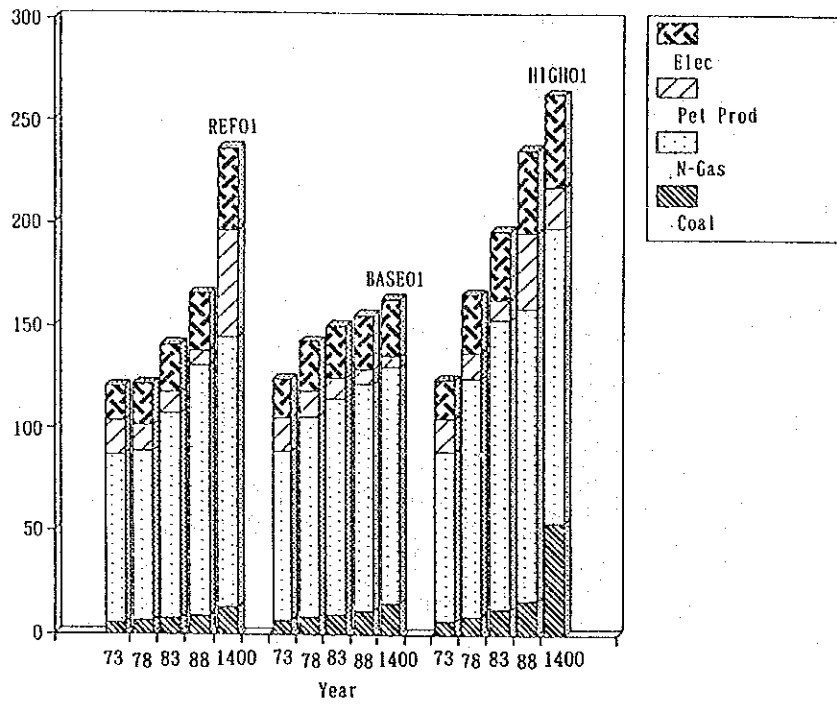


Fig. 4.7 Consumption of Energy Carriers in Household of I.R. Iran

(Mio. BOE/a)



(Mio. BOE/a)

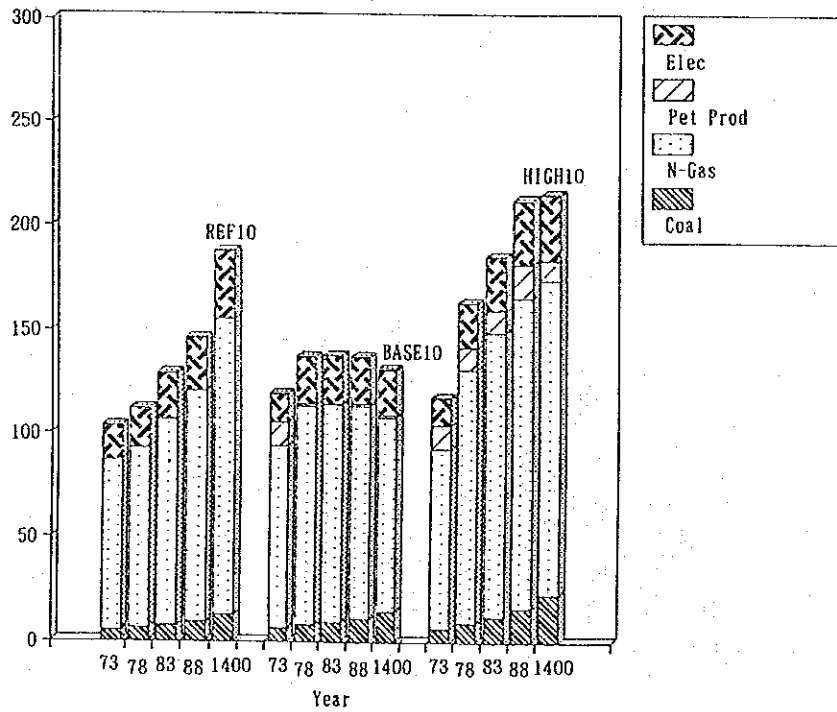


Fig. 4.8 Consumption of Energy Carriers in Industry of I.R. Iran

4.7 エネルギー部門の展開の予測

国民一人当りの一次および最終エネルギー消費は、過去20年間に継続して増加してきており、1968年の国民一人当たり3 BOE/aから1991年の9.87BOE/aへと上昇した。国民一人当りの一次エネルギー消費の平均年間伸び率は、最近数年間に比較的高くなっており、1989～1991年の期間には8.3%に達した。国民一人当りの一次エネルギー消費の展開を予測すると、高成長シナリオでは、2014年には国民一人当たり17.2 BOE/aへと増加し、その後いくらか減少することが分かる。他のすべてのシナリオでは、国民一人当りの一次エネルギー消費は、現在のレベルのままであるか、変化するとしても、ごくわずかである。

5. 省エネルギー

5.1 はじめに

5.1.1 省エネルギーの重要性

省エネルギーの促進は、イラン・イスラム共和国（以下、イラン）におけるいくつかの主要なエネルギー問題 — エネルギーの合理的利用、石油輸出の拡大、ならびに、環境の保全を含む — の解決に資するであろう。イランの第1次5カ年計画では、同国のエネルギー消費に関して、次の政策が謳われている。

- エネルギーの最適利用
- 設備・機器におけるエネルギー節約の実施
- 省エネルギー促進のための価格政策の変更

5.1.2 調査の視点、重点、および目的

本調査では、省エネルギーの“経済的”ポテンシャルの推定に重点がおかれる。その理由は、省エネルギーを推進すべきである、という方針は、上述のように、イラン政府によってすでに決定されており、その決定の正当性は、本調査報告の第2、3、及び4章における検討によって裏づけられている、という事実である。換言すれば、イラン政府の視点から、省エネルギーに関して、現在、最も重要であると考えられることは、

- ① いかにして、消費者（個人、企業、その他）を省エネルギーに向かわせるか、
- ② 当面、実行可能であると予想される対策によって、どの程度の省エネルギーが達成されるか、

という問いに対して、的確な答えを得ることである。

①に対する答えは、一般的には、指導・助言・教育、強制的措置、指示、誘導、刺戟など多くにのぼるが、これらの中でもとくに有効であると考えられるのは、経済的な誘導（エネルギー源の価格引上げや、それへの課税）および刺戟（省エネルギー対策への税制・金融上の優遇）である。

そして、イラン政府がこれらの省エネルギー政策を具体的なものとして提案するためには、エネルギー源の価格と省エネルギー対策のコストとの対比が必要になってくる。いま、簡単のためにエネルギー源の価格政策だけを検討の対象とすると、ある消費者は、省エネルギー対策に要するコストと、それによって達成される省エネルギーという便益（例えば重油1ℓというように表示される）とを対比して、後者が前者を上回れば、その対策の実施に踏み切るであろう、と考えられる。このように、個々の消費者の視点から正当化される省エネルギー対策に

よって達成される省エネルギー量を、この章では“経済的”ポテンシャルと呼ぶことにする(注1)(注2)。

(注1) 個々の消費者の視点から省エネルギー対策が経済的に正当化される、という場合、一般的には、そこで考慮の対象になる“便益”は、必ずしも、節約されるエネルギー量だけではなく、労働生産性の上昇、製品の品質の上昇なども含んでいる。

(注2) “経済的”ポテンシャルの推定の視点には、個々の消費者の他には、政府、あるいは社会という、もっと広い視点もあることは、いうまでもない。例えば、米国議会技術評価局の調査報告は、「社会的な視点からは、関連するコストと便益の範囲はより広くなる。全ての金銭的な、健康に関する、さらには、エコロジカルの面の、コストと便益が社会全体によって負担され、享受されることは当然のことである。」と書いている(“Industrial Energy Efficiency”, August 1993)。このようなアプローチは、いわば間接的なコストと便益をも検討の対象にしている、といえるが、他方、同じくより広い視点からではあるが、直接的なコストと便益のみを対象として検討する、というアプローチもある。例えば、M. Munasingheはエネルギー使用機器およびエネルギー源の双方について、市場価格および“経済価値”(機会費用あるいはシャドウ・プライス)を用いたコスト/便益分析を行っている(Mohan Munasinghe, “Third World Energy Policies — Demand Management and Conservation”, World Bank Reprint Series: No. 255)。

かくして、本調査の目的は、省エネルギーの経済的ポテンシャルを推定し、それによって、省エネルギーに関する政策上の課題を、経済的な側面から明らかにすることである。この目的に到達するために、本章では、まず、エネルギー消費の推移と現状が分析された後、省エネルギーを促進するための対策が調査、検討されるが、それらの中には、現在および将来において利用可能な技術および機器が含まれている。第3に、省エネルギーに要するコストが評価され、その便益、即ち、省エネルギー量と対比される。最後に、このような評価及び対比にもとづいて、省エネルギー促進のための暫定的なシナリオが提示される。

5.1.3 調査対象分野の選定

以下の理由から、工業、エネルギー転換、および輸送の3部門が、本調査における省エネルギー促進の検討の対象として選ばれた。

- a) 工業および輸送の両部門はイランにおける主要なエネルギー利用部門であり、それぞれイランの全最終エネルギー消費の約4分の1を占めている。そして、これら両部門のいくつかの業種およびある分野について、イランおよび日本で省エネルギーの分析に要するデータが入手された。
- b) 家庭部門はイランで全体の最終エネルギー消費の4分の1以上を占めるが、それに関する分析のために十分なデータは入手できなかった。
- c) 発電、石油精製、およびガス処理を含むエネルギー転換部門がエネルギーを効率的に使うことは、ある国の全エネルギー・フローの効率改善のためには不可欠のことである。火力発電および石油精製について、分析に要するデータがイランおよび日本で入手された。

5.2 エネルギー消費の現状，省エネルギー対策，ならびに 省エネルギーの技術的ポテンシャルの検討

5.2.1 工業部門

5.2.1.1 はじめに

(i) 業種の選択

省エネルギー対策の検討対象とされる業種は，エネルギーを大量に使う業種，言い換えれば，対策を講ずることによって，その国のエネルギー消費全体に対して大きな効果をもたらす業種であることが望ましい。そのような業種として，われわれの共同研究では，セメント，ガラス，砂糖，鉄鋼の4つが選ばれた。

イランにおける製造業の業種別エネルギー消費については，9分類によって，1974年から1986年までの13年間のものが明らかになっている（表5.1）。ここでいう9分類とは以下の通りで，それぞれに数業種以上が含まれている。

a) 食品関連産業

食肉加工，乳製品，食用油，砂糖，飲料水，タバコなど

b) 繊維関連産業

織布，染色，縫製，皮革など

c) 木材加工関連産業

木製家具を含む

d) 紙・印刷関連産業

製紙，印刷，出版など

e) 化学製品関連産業

化学原料，同繊維，塗料，医薬品，セッケン，石油製品，石炭製品，ゴムなど

f) 非金属鉱物関連産業（石油，石炭製品を除く）

セメント，レンガ，ガラス，陶磁器など

g) 基礎金属関連産業

鉄鋼，非鉄など

h) 機械関連産業

金属食器，農業機械，工作機械，家庭電気器具，自動車，貨車など

i) その他産業

宝石，楽器，スポーツ用品など

Table 5.1 Share of Energy Consumption
by Industry in I.R. Iran

(Unit:%)

Industries	1976	1981	1986
Food related	19.1	15.3	15.9
Textile related	8.4	8.2	6.2
Wood related	0.7	0.8	1.2
Paper related	1.2	2.3	1.2
Chemical	11.3	10.3	10.3
Non-metallic minerals	44.6	56.1	48.1
Basic metals	8.4	2.5	11.5
Machinery related	6.3	4.4	5.5
Others	0.0	0.1	0.1
Total	100.0	100.0	100.0

(Source) Mohammadi, A., "Creating a Model for Energy Management
in the Cement Industry in I.R. Iran " 1992

ところで、上記の表によると、これら9業種のうち、エネルギー消費の最も大きいのが非金属鉱物で、その消費量は1986年度（イラン暦による。1986年3月21日から1987年3月20日。年度と書く場合は以下同じ）において全体の約半分と他を大きく引離している。これに次ぐのが食品であり、さらに基礎金属、化学、繊維と続いている。

なお、各業種におけるエネルギー消費の原単位（この場合は100万リアル当たりギガ・ジュール）をみると、上記と同じく非金属鉱物、食品、基礎金属、化学と続いているが、第5位は木材加工が占めている（表5.2）。しかも、各業種における支出総額に占めるエネルギー支出額の比率をみると、木材加工は非金属鉱物（6.4%）に次いで2位（3.6%）を占めている。即ち、この業種は一単位の製品生産のために要するエネルギーの量が他に比して大きい（エネルギーの“インテンシティ”が高い）業種である、ということができる。

さて、本報告では、上述のように、省エネルギー対策がイランのエネルギー消費の節減に大きく貢献する、という基準にもとづき、上位数業種を対象に、現場調査の便宜も考慮して、非金属鉱物からセメントとガラス、食品から砂糖、基礎金属から鉄鋼の4つを選択した。化学に含まれる石油精製の現場調査も行ったが、これについては、本報告では、次の「5.2.2 エネルギー転換部門」で採上げることにする。

(ii) 省エネルギーのための基本的技術

これらの業種について、省エネルギー対策の検討とそれによる省エネルギー・ポテンシャルの推定を行うにあたって着眼した基本的な技術は、次の各項目に関連するものである。

- a) 燃焼の適正化
- b) 加熱、冷却および熱伝達の適正化
- c) 熱損失の防止
- d) 廃熱の回収
- e) 熱の動力への転換の適正化
- f) 電気抵抗損失の防止
- g) 電気の動力への転換の適正化

つまり、以下で検討される個々の省エネルギー対策は、これらの項目のうちのどれかに属する、ということができる。

(iii) 省エネルギー対策の3つのカテゴリー

さらに、これらの業種について、省エネルギー対策を検討するにあたっては、対策を次の3つのカテゴリーに分けた（これらは、以下に示すように、時間的順序として、第1、第2、第3と進んでいくことが多いのは事実であるが、全ての対策が必ずしもそのような順序で行わ

Table 5.2 Energy Intensity in Various Industries in I.R. Iran

(Unit: Giga J./Million Rial)

Industries	1974	1977	1981	1986
Food related	775.7	703.1	545.4	1,265.5
Textile related	386.4	390.0	239.9	302.5
Wood related	415.5	258.1	352.7	642.0
Paper related	183.3	292.7	469.6	304.1
Chemical	272.8	496.9	546.7	571.6
Non-metallic minerals	2,982.4	2,877.8	2,178.0	2,633.3
Basic metals	1,071.0	666.1	2,656.0	889.1
Machinery related	277.9	172.1	105.6	205.2
Others	69.6	137.6	132.6	71.0
Total	721.1	718.7	604.5	867.0

(Source) The same as Table 5.1.

れるわけではないことから、それぞれの対策グループをカテゴリーと称することにした)。

第1のカテゴリーは、工場、設備などのオペレーションやメンテナンスを適正に行うことに含まれる対策であり、新たな投資は殆ど伴わないか、伴ったとしても金額は大きくないようなものである。一般的には、次のような対策がこのカテゴリーに属する。

- a) 無負荷運転の防止
- b) 石油、水、蒸気などの漏れの防止
- c) 保温の強化
- d) 炉体扉および点検窓の長時間開放の防止
- e) 伝熱面の清浄化
- f) 燃料／空気比の点検と調整
- g) 燃焼機器の適正な保守
- h) 加熱および冷却の設定温度の適正化
- i) 加熱対象物の位置の適正化

これらの対策に加え、(1)職員の知識、動機づけ、訓練などの改善、ならびに(2)経営者の意識の向上は、工場において省エネルギー促進を成功させるために不可欠である。

第2のカテゴリーは、既存の機械、設備を前提として、それらの改良、あるいは、それらに対する追加(増設)を行うというもので、かなり大きな額の投資を必要とする。

既存の設備の改良の例としては、断熱材の補強があげられる。また、既存の設備への追加の例としては、復水や排出されるスチームから熱の回収を行うための設備の追加があげられる。

第3のカテゴリーは、既存の設備や機械などの代わりに、新しいプロセスを体現した新しい設備や機械を導入するというものであり、一般的には、第2のカテゴリーに属するものよりも大きな額の投資を伴う。

このカテゴリーに属する対策の1つの例は、鉄鋼業における連続鑄造装置の導入である。造塊・分塊法に代わる同方式の導入により、転炉(あるいは電気炉)から出てくる溶鋼を鑄型に注入したり、型抜きしたりして一度冷却することなく、圧延のための加熱炉に向けることができるようになり、大きな省エネ効果をもたらされた(図5.1)。もう1つの例はセメント産業におけるNSP(またはSP)キルンの導入であり、既存のキルン(例えばLepolキルン)を廃棄して(スクラップ)、NSPキルンを建設する(ビルド)という場合には(スクラップ・アンド・ビルド)、この省エネ対策は第3のカテゴリーに属するといえる(これに対して、LepolキルンのNSPキルンへの改造は第2のカテゴリーということになる)(図5.2)。

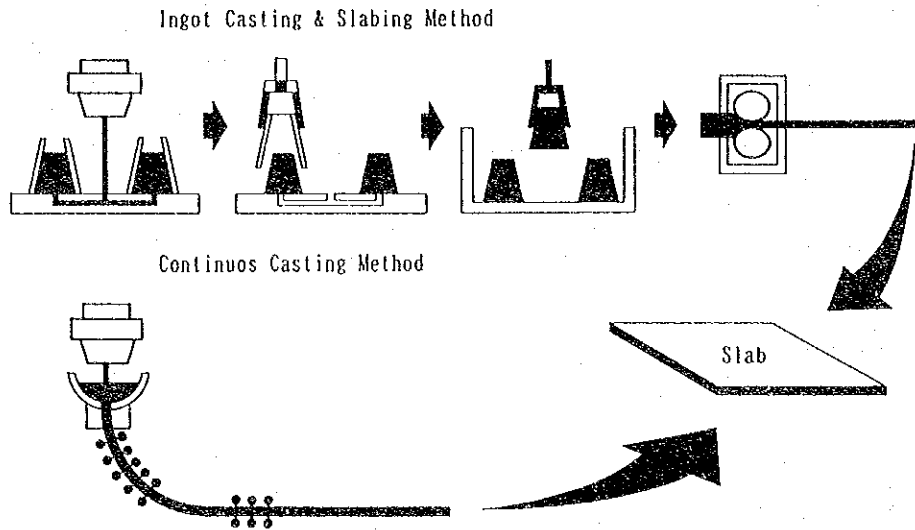


Fig. 5.1 An Example of Category 3

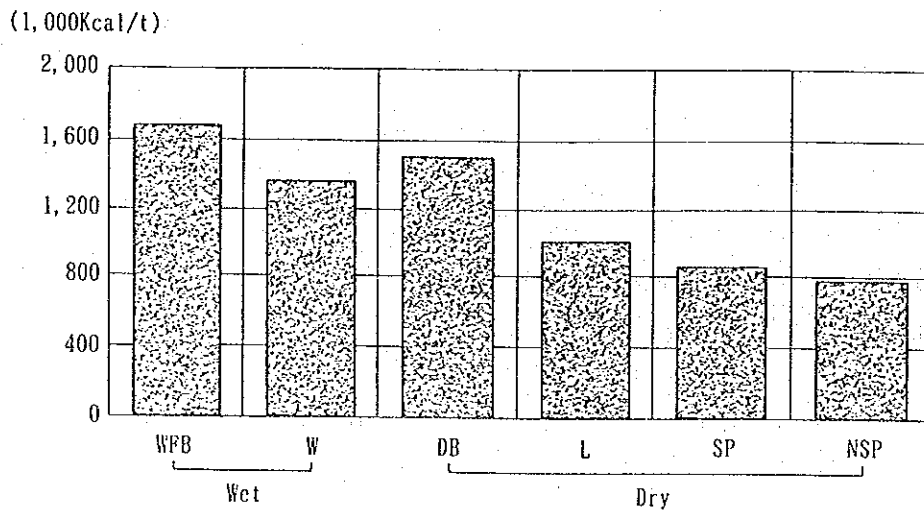


Fig. 5.2 Fuel Consumption of Kilns

(iv) イランの省エネルギー・ポテンシャルの評価において留意すべき事項

以上の2つの項目(ii)および(iii)において述べたことは、いずれの国にも共通することであるが、イランにおける省エネルギー対策の検討、ならびに、そのポテンシャルの評価を行うにあたっては、特に次の各事項に留意することが必要である。

- a) 設備、機械などが建設、設置以来、かなり長い年月を経ていること。
- b) 戦争、および、近年では外貨不足という理由から、設備、機械などのメンテナンスやリハビリテーションが十分に行われていないこと。
- c) 多くの設備、機械などが低稼働を余儀なくされていること。
- d) 上記のa)、および、全国的にみた生産・需要規模、の2つの事情から、設備、機械などの規模が日本、その他の国々に比して一般的に小さいこと。

これらのうち、a)、b)およびc)はイランにおける今後の省エネ努力が大きな成果を生み出す可能性のあることを示しているが、d)は、上記の第1および第2のカテゴリーに照していえば、省エネルギーのポテンシャルが相対的には大きくないことを物語っている。

(v) 技術的ポテンシャルと経済的ポテンシャルの推定方法

a) 技術的ポテンシャル

ある産業の既存のプラントにおける将来のある時点までの省エネルギーの技術的ポテンシャルは、次のように定義することができる。

$$P_{TE} = \frac{a \cdot a' + b \cdot b' + c \cdot c' \dots\dots\dots}{t}$$

ここに、 P_{TE} ; 既存プラントにおける技術的ポテンシャル

$a, b, c \dots$; 対策A, B, C…による省エネルギー効果

$a', b', c' \dots$; 対策A, B, C…が採られた設備機器による
当該製品の生産量

t ; 既存プラントにおける当該製品の全生産量

また、その産業の、将来のある時点までの既存および新規のプラント全体の省エネルギーの技術的ポテンシャルは、次の式で表わされる。

$$P_T = P_{TE} \cdot \frac{E}{T} + P_{TN} \cdot \frac{N}{T}$$

ここに、 P_T ; その産業全体の技術的ポテンシャル
 P_{TN} ; 新規プラント・工場における技術的ポテンシャル
 E ; 既存プラントの生産量
 N ; 新規プラントの生産量
 T ; $E + N$

b) 経済的ポテンシャル

ある産業の既存のプラントの将来のある時点までの省エネルギーの経済的ポテンシャルは、上記の技術的ポテンシャルのうち、“5.1 はじめに”で述べた意味において、その実施が経済的に正当化される部分を合計したものである。例えば、AおよびDの対策は正当化されるのに対し、BおよびCの対策は正当化されないとすると、経済的ポテンシャル(P_{EE})は次の式で表わされる。

$$P_{EE} = \frac{a \cdot a' + d \cdot d' \dots\dots}{t}$$

なお、後述のように、今後5年程度という比較的短い期間を考える場合には、イランでは、経済的に正当化される対策は第1のカテゴリーに属するものが多い。

経済的ポテンシャルについても、技術的ポテンシャルと同様、次の式が成り立つ。

$$P_E = P_{EE} \cdot \frac{E}{T} + P_{EN} \cdot \frac{N}{T}$$

ここに、 P_E ; その産業全体の経済的ポテンシャル
 P_{EN} ; 新規プラントの経済的ポテンシャル

5.2.1.2 セメント製造業

(i) エネルギー消費の現状

a) セメント需給

セメント需要は1988年のイラン・イラク戦争終了後、急速に増大している。潜在需要は実際の供給を大幅に上回っているとみられている。セメント需要の急速な増大の理由はいくつかある。

- ① イラン・イラク戦争中に攻撃を受けた地域の復興。
- ② 人口の急増 — 新しい居住地域、教育施設、病院、道路などが必要になる。
- ③ 近年の地震および洪水によって被害を蒙った地域の復興。
- ④ 多数の農・工業開発プロジェクト。

Table 5.3 Production and Imports of Cement in I.R. Iran

(1,000 tons)

Year	Production	Imports	Exports
1976	7,375	1,300	50
1977	7,706	2,600	—
1978	7,150	2,100	—
1979	7,620	400	—
1980	7,895	300	—
1981	9,231	100	—
1982	10,001	—	—
1983	10,912	—	—
1984	11,803	—	—
1985	12,095	—	—
1986	11,273	2	—
1987	12,618	1.5	127
1988	12,118	2.3	45
1989	12,830	1.3	169
1990	15,150	2	60
1991	15,190	n. a.	30

(Source) Ministry of Industry (I.R. Iran)

セメント生産は1988年の1,211万8,000トンから1991年の1,519万トンに増大した(表5.3)が、1992年には需要急増のためにセメント不足が生じている。

b) セメント生産

セメント生産は現在、17の工場で行われているが、これらは13の会社の所有になる(表5.4)。最大生産能力を誇るのはFars and Khuzestan Cementで、その生産能力は18,050トン/日に上っている。それに続くのはTehran Cementの9,600万トン/日であり、さらにSepahan Cementの6,600万トン/日およびSoufian Cementの4,600トン/日が続いている。

これらの工場のうち、調査団が訪問し、調査を行ったのはTehran CementのNo.1およびNo.2工場、Ourmia Cement, Soufian Cementの各1工場、計4工場である。表5.4にみられるように、Tehran Cement No.1工場にある1号から6号までの6つのキルンはそれぞれ1956, 1958, 1966, 1969, 1972, および1979年に、また、同No.2工場のキルンは1984年に運開したものである。また、Soufian Cementの4つのキルンの運開年はそれぞれ1971, 1976,

Table 5.4 List of Cement Kilns in I.R. Iran (as of 1991)

Company Name	Plant Name	Nos & Type of Kiln			Capacity (ton/day)	Established Year	Manufacturer of Kiln	Clinker Production (1000t/y)	Cement Production (ton/day)	Cement Production (1000t/y)	Fuel Type
		Wet	Dry	SP							
Fars and Khuzestan Cement Co. (State)	Abyek Factory	1			3,500	1974	Polysious	2,250	7,800	2,300	NG
		1			4,000	1980	Polysious				
	Behbahan Factory		1		2,750	1979	I. H. I	825	2,860	880	F0
	Doroud Factory	1			300	1959	Edger-Aien	1,197	4,680	1,440	NG
		1			300	1965	Edger-Aien				NG
		1	1		400	1968	Alice-Chalmerz Polysious				NG
	Fars Factory			1	1,000	1969	I. H. I				NG
				1	2,500	1980	I. H. I				NG
				1	300	1966	Krupp	1,051.5	2,718	1,056	na
Gharb Cement Co. (Private)				1	500	1967	Krupp				na
				1	1,250	1974	K.H.D				na
				1	1,250	1978	K.H.D				na
Mazandaran (Neka) Cement Co.		1			2,000	1977	K.H.D	600	2,080	640	F0
			1		2,000	1981	K.H.D	600	2,080	640	na
			1		500	1968	Polysious	679.5	2,184	672	na
Esfahan Cement Co. (Private)			1		700	1975	Polysious				na
			1		900	1976	Polysious				na
			1		300	1970	Polysious	1,104	3,744	1,152	na
Kerman Cement Co. (Private)			1		1,000	1974	K.H.D				na
			1		2,300	1979	Polysious				na
			1		1,500	1987	West-Alpin	600	2,080	640	na
Khazer Cement Co.		1			300	1970	Krupp	492.756	1,612	496	F0
			1		1,250	1975	Polysious				
			1		2,300	1989	F.L.S	600	2,392	736	na
Sepahan Cement Co. (State)			1		3,300	1978	K.H.D	1,980	6,864	2,112	na
			1		3,300	1981	K.H.D				
			1		60	1958	G.H.H	85.8	2,558	883	na
Shemal Cement (State)	Chani Abad		1		200	1957	F.L.S	99			na
			1		2,000	1979	K.H.D	660.0			na
			1		300	1958	Polysious	99	312	96	na
Loushan Cement Co.		1			600	1971	F.L.S	1,428	4,784	1,472	F0
			1		1,000	1976	F.L.S				F0
			1		2,000	1978	F.L.S				F0
Tehran Cement Co. (State)	No.1 Factory				300	1956	F.L.S	2,226	9,672	2,976	NG/F0
					300	1958	F.L.S				NG/F0
					600	1966	F.L.S				NG/F0
	No.2 Factory				300	1969	G.H.H				NG/F0
					2,100	1972	F.L.S				NG/F0
					4,000	1979	Polysious	600			NG/F0
					2,000	1984	Pergo-inosel				NG/F0
		9	14	16	2	56,460		17,267.50	58,420	18,191	

(Source) CEMBUREAU, 1991, and Ministry of Industry (I.R. Iran) (Note) NG:Natural Gas, F0:Fuel Oil, na:not available

1978および1984年である。さらにOurmia Cementのキルンは1989年に運開している。これらの運開年次からうかがえるように、調査団が訪問した工場の各キルンは、最も古い部類に属するものから比較的新しいものまでを網羅している、といえる。

c) セメント産業におけるエネルギー消費

セメントの製造工程は原料加工、焼成、仕上げの3つに分けられる(図5.3)。

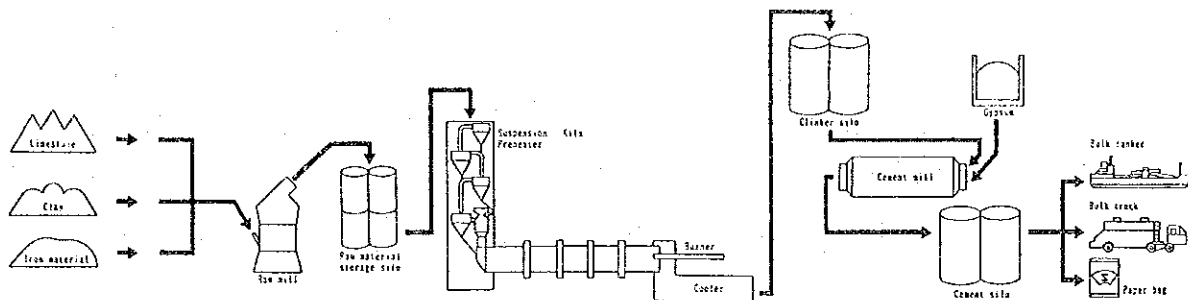


Fig. 5.3 Cement Production Flow Sheet

原料加工の工程では、石灰石と粘土類が調合、乾燥、粉砕される。

次の焼成は粉末の原料をキルンに送入して、1,450°C前後に熱し、化学反応により中間製品であるクリンカーを製造する主工程である。

仕上げ工程は、クーラーで冷却されたクリンカーに石こう(凝結時間を調整するために用いられる)を加え、微粉砕する工程である。

原料加工の工程で用いられるエネルギーの殆ど全部は粉砕用の電力であり、燃料は乾燥用に少量用いられるにすぎない。粉砕は従来、ボール・ミルによって行われてきているが、近年新設される工場では、ローラーと回転テーブルの間での圧縮、衝撃、せん断により粉砕するため、効率が高く、電力原単位が小さいローラー・ミルが採用されることが多い。

焼成工程は前述のようにセメント製造の主工程であり、セメント製造用燃料の殆ど全てはこの工程で消費される。キルンからの排ガスと熱交換してえられる熱を原料の予熱に用いるサスペンション・プレヒーター付きキルン(S Pキルン)が1960年代に登場し、さらに1970年代に入ると、S Pのサイクロンとキルンの間に仮焼炉を組み込み、原料の脱炭酸率を一段と高めることのできるニュー・サスペンション・キルン(NS Pキルン)が開発された。焼成工程における燃料の消費量はこれらS P、NS Pキルンの登場によって、従来の湿式キルン、乾式キルンに比して大幅に低下するにいたった。図5.2に示されているように、WFBやDBとNS Pを比較すると、燃料消費に大きな差が出ていることがわかる。かくして、ある国のセメント産業における燃料消費の大小を決めるのは、同産業全体のキルン構成がどの

ようになっているか、即ち、“キルン・ミックス”である、ということができる。

最後に、仕上げ工程で用いられるエネルギーは原料加工と同様、粉碎のための動力（電力）である。設備としては、原料加工と同じように、現在はボール・ミルが主体である。日本における工程別の電力消費をたどってみると、1960年代においては原料加工と仕上げがほぼ同じであったが、1970～1980年代にかけて原料加工における電力消費が低下したのに反し、仕上げにおけるそれは僅かの低下をみたにとどまっており、現在では、この工程が電力を最も多く使う工程になっている（表5.5）。なお、同表によると、焼成工程では、SPおよびNSPキルンの導入に伴って電力消費原単位が上昇していることがわかる。

Table 5.5 Trend of Electricity Consumption in Manufacturing Cement by Process in Japan

(Kwh/t-cl.)

Year	Preparing Materials	Burning	Finishing	Others	Total
1950	57	28	47	10	142
1955	56	27	48	9	135
1960	49	25	46	7	127
1965	45	23	47	5	120
1970	43	25	47	4	119
1975	44	31	48	3	126
1980	39	32	46	3	121
1985	31	29	45	2	108
1989	29	28	43	3	103

(Source) Environment Protection Agency (Japan)

d) イランのセメント産業におけるエネルギー消費原単位

前述のように、われわれが訪問したセメント工場は全部で4つあった。表5.6に示したように、これら工場における燃料消費の原単位は800～1,250Mcal/t-cl., また電力消費の原単位は113～132Kwh/t-cl.と工場、またはキルンによってかなり大きな差がある（但し、電力については、Soufian Cementで入手した数字は製品トン当りで示されているが、クリンカー・トン当りに換算した。それぞれ110→115, 120→125である）。

イランのセメント産業におけるエネルギー消費原単位を推定するに当たって、まず、燃料については、Soufian CementのNo.3およびNo.4キルンの800Mcal/t-cl.という数字はイランの全セメント工場の中では例外的に小さい数字であると想定して、平均値計算のための最も小さい数字としては、Ourmia Cementの950Mcal/t-cl.を用いることとした。また、平均値計算のための最も大きい数字としては、Soufian CementのNo.1およびNo.2キルンの1,250Mcal/t-cl.を用いた。次に、電力については、Ourmia Cementの113Kwh/t-cl.を最低値、また

Table 5.6 Estimated Specific Energy Consumption in Cement Industry in I.R. Iran

	Specific energy consumption			Remarks
	Fuel (Mcal/t-cl)	Electricity (Kwh/t-cl)	Total (Mcal/t-cl)	
Tehran Cement				
No.1 Factory (6 kilns)	1,118	132	1,230	In 1991
No.2 Factory (1 kiln)	970	117	1,070	"
Soufian Cement				
No.1 & 2 kilns	1,250	110 (*)	1,350	(*) per ton of products. In 1992
No.3 & 4 kilns	800	120 (*)	900	(*) per ton of products. In 1992
Ourmia Cement	947	113	1,040	In 1992
Estimated average	1,100	123	1,200	
Average in Japan	653	95	735	In 1990
" Germany	713	115	813	"
" Korea	741	107	833	"
" France	748	109	841	"
" U.S.A.	986	148	1,112	"
" U.K.	1,045	129	1,156	"

Tehran Cement No.1工場の132Kwh/t-cl.を最大値として、その中間値をイラン全セメント工場の平均値として採用した。このような推定の仕方は、先に述べた各キルンの建設年、ならびに、表5.4に示されている各キルンの方式などから、ほぼ妥当なものと考えられる。

このようにして推定されたイランのエネルギー消費原単位は1991～1992年時点のものであるが、これらを1990年度（日本の年度）と比較してみると、両者の間には大きな差があることがわかる。即ち、燃料については、1,100対653と、イランの水準は日本のそれをいまだ70%も上回っており、さらに電力についても、123対95とイランの水準は日本よりも30%近くも高い。セメント生産においては燃料の消費割合が大きいので、全エネルギー消費の原単位の比較においても、イランの水準は日本のそれを63%も上回るという結果になっている（これは日本の1973年の水準にほぼ等しい）。これらの比較は、イランのセメント産業において、省エネルギーの大きなポテンシャルがあることを示している。

但し、イランの水準が国際的にみて極めて高いところにある、というわけではない。表5.6に示したように、イギリスおよびアメリカは現在でもイランよりも僅かに低い水準にある、というてよい。そこで、国別にみる場合には、イランはまずイギリスおよびアメリカの水準に追いつくことから始めるべきだ、ということになる。表中に示された国々の中では、次いでフランス、韓国、およびドイツが目標になるであろう。

(ii) 個別の省エネルギー対策の検討

a) はじめに

ここでは、イランのセメント産業における個別の省エネルギー対策、即ち、個々の工場における技術的なものを中心とする対策が検討される。その際、省エネルギーのための基本的な技術としてわれわれが取上げるのは5.2.1.1-(ii)に掲げた7つの技術のどれかであり、検討する対策は5.2.1.1-(iii)で述べた3つのカテゴリーのどれかに属するものである。そして、それらの対策がとられると、どの程度の省エネルギーが可能になるか、即ち省エネルギーの技術的ポテンシャルについても、対策毎に定量的な推定が行われる。

b) 第1のカテゴリーの対策

前述の5.2.1.1-(iii)に示した3つのカテゴリーのうち、第1のカテゴリーに属する省エネルギー対策は、一口にいえば、工場、設備などのオペレーションやメンテナンスをより適正なものにすることである。他の業種にもかなり共通するが、セメント産業におけるこのカテゴリーの対策としては、5.2.1.1-(ii)のa)に属する“空気比の管理”やc)に属する各種の“漏れの防止”が、主要なものである。より具体的にいえば、①キルンにおける燃焼管理上、空気比をより適正化すること、②キルンなどからの高温の燃焼ガス、空気、クリンカーなどの漏れを防ぐこと、③キルンへの冷たい空気の流入を防ぐことなどがある。

また、これらに加えて、大きな投資を伴うものでなければ（そのような場合は、カテゴリ-2の対策となる）、①キルンのレンガ部分の補修、②パイプなどを補修して、保温状態を良くすること、また、③原料の水分を取除いたり、粒度をできるだけ等しくしたりするなど、原料調合における品質管理の向上などの対策も、カテゴリ-1としては重要なものである。さらに、クリンカーやセメント製品の工場内における飛散は、製品歩留りの低下からエネルギー消費原単位の上昇につながるため、その防止も重要な省エネルギー対策である。

c) 第2のカテゴリ-の対策

このカテゴリ-に属する対策で最も効果的なものが、既存の湿式キルンやLepolキルンなどのSPキルンあるいはNSPキルンへの改造である。前述のように、改造によってセメント（あるいはクリンカー）1トン当りの燃料消費は大幅に低下する。後出の表5.31にはLepolキルンのSPキルンあるいはNSPキルンへの改造による省エネルギー効果およびその投資コストのみが示されているが、イランにまだかなり残っている湿式キルンをSPキルンやNSPキルンに改造するとすれば、もっと大きな省エネルギー効果がえられることはいうまでもない。

次に、廃熱発電もかなり効果の大きい省エネルギー対策である。例えば、Tehran Cement第2工場のキルン（SP）からは450～500℃の排ガスが出ていると報告されており、これを発電用には十分可能である（この温度は日本における320～350℃よりかなり高い）。

さらに、仕上げ工程における予備粉砕ミルの建設、および、各種のファン、ブローア、ポンプなどの回転数制御のためのインバーター・システム導入などは電気を節約する技術である。

予備粉砕方式とは、既存のボール・ミルと組み合わせる形でローラー・ミルによる予備粉砕工程を設けるもので、電力需要が20%程度削減されるとともに、ボール・ミルの粉砕能力が上昇する、という利点をもつ。

他方、一般的に電気を動力に使う場合、ファン、ブローア、ポンプなどでは、これらの回転数の3乗に比例して電力が消費されることから、需要変動に合わせて回転数を制御するための対策が構じられている。回転数の制御のために導入されているのがインバーター（周波数変換装置）であり、イランのセメント産業においても、この方式の導入によって大きな省エネルギー効果をあげることができる、と予想される。

日本では、省電力を目的として可変速化された電動機では、消費電力の20～50%が節約されている、といわれており、また、欧米の調査でも、20%、あるいは40%の節約が行われた、という例が報告されている（環境庁編『地球温暖化防止対策ハンドブック』1993年）。

このような節電対策がセメント以外の産業でも同様に採られるべきものであることは、いうまでもない。

第2のカテゴリ-に属する省エネルギー対策としては、以上に述べたものの他、NSPキ

ルンにおけるクリンカー・クーラーの冷却効率の改善がある。この技術はNSPキルンにおける最後の効率改善要素とされており、現在までにいくつかの方式が実用段階に入っているが、いまだ技術開発上の課題が残されている。

d) 第3のカテゴリーの対策

第3のカテゴリーに属する対策のうち最も効果的だと考えられるのが、湿式キルンのSPキルンあるいはNSPキルンへのリプレースメントである。セメント・キルンの平均寿命は、改造による延命も含めて、25～30年とみられている。いまイランのセメント産業におけるキルンの建設年次をみると、1970年あるいは1975年以前に建設されたものが多数見受けられ、2000年ごろまでにはSPあるいはNSPキルンにリプレースされると予想される。

次にあげられるのが、原料加工および仕上げの両工程における省エネルギー型ミルの導入である。水平方式のボール・ミルから堅型のローラー・ミルに転換することによって、それぞれ従来の消費量の4分の1程度の省電力が可能になると推定されている。

最後に、現在開発中の技術としては、流動床方式の焼成炉がある。この方式は、①放散熱量の低減、②冷却効率の改善、③可動部分の縮小による省電力、などを特徴としており、NSPキルンに比して最大10%程度の省エネルギーが見込まれている。しかし、この方式はNSPのような大型炉としてよりも、むしろ多品種少量生産や生産自動化に適している、と考えられており、大規模生産方式に代替するよりも、それを補完するものとして位置づけられる可能性が強い、ともみられている。

(iii) 省エネルギーの技術的ポテンシャル

“第1次石油危機”後における日本のセメント産業の経験によると、第1のカテゴリーの対策にもとづく省エネルギーの効果は少なくとも30～50Mcal/t-cl (重油換算3.2～5.3ℓ)と推定される。イランのセメント産業におけるエネルギー消費原単位は1,200Mcal (重油換算126.3ℓ)であるから、上記の省エネ効果はその2.5～4.2%に等しい。

表5.7は、日本のセメント産業における燃料消費原単位の低下をもたらした要因を分析したものである。ここにみられるように、燃成工程におけるSPキルンおよびNSPキルンの導入が消費原単位の低下には大きく寄与している。1973～77年における燃料消費原単位の低下(180Mcal/t-cl)のうち73%がこれらキルンの導入拡大(これらキルンの稼働率引上げを含む)によってもたらされたものである。

Table 5.7 Analysis of Factors Decreasing the S.E.C. in the Cement Industry in Japan

(Unit : Mcal/t-cl)

	1973 -77	1973 - 80
Preparing materials	15(8.3)	19(8.0)
Burning(*)	163(90.6)	214(90.3)
Conversion to SP, NSP kilns	132(73.3)	170(71.7)
Decrease in s.e.c. of SP, NSP kilns	17(9.4)	26(11.0)
Decrease in s.e.c. of other kilns	20(11.1)	16(6.8)
Unidentified	-6(-3.2)	2(0.8)
Finishing and others	2(1.1)	4(1.7)
Total	180(100.0)	237(100.0)

(*) The s.e.c. of kilns are as follows. Figures in parenthesis show shares of clinker production.

	1973	1977	1980
SP, NSP	854(48.9)	820(80.9)	800(88.6)
Others	1,233(51.1)	1,130(19.1)	1,095(11.4)
Average(Total)	1,048(100.0)	879(100.0)	835(100.0)

Source : IEEJ

SP・NSPキルンの導入拡大の他には、①調合原料のバラツキをなくして、キルンの使用燃料を抑え込んだこと、②設備・機器への空気の洩れ込みの減少につとめたこと、③同じく断熱を強化したこと、などの対策がとられた。これらの対策の効果は、表5.7の中では「SP・NSPキルンの原単位低下」および「その他のキルンの原単位低下」となって表れている、と考えられる。とくに1973～77年間の「その他のキルンの原単位低下」による20Mcal/t-clは、既存のこれらキルンに対する、この期間の主な対策は、第1カテゴリーのものであったから、殆ど全てが上記①～③を含む第1カテゴリーの対策の効果である、とみても大過ないであろう。

さらに、「SP・NSPキルンの原単位低下」による効果の中にも、第1カテゴリーの対策による効果がある程度含まれている、と推測される。

しかも、その他の工程における対策や、1978～80年における対策の効果をも考慮に入れると、第1カテゴリーの対策による省エネルギー効果は、少なくとも30～50Mcal/t-cl程度に達していた、とみることもできるであろう(注)。

(注) この30～50という数字は、例えばレポール・キルンをNSPキルンに転換した場合、150～200Mcal/t-clの省エネルギー効果があがる、という場合と同じ意味合いでの省エネ効果を示すものである。換言すれば、a, b, c, d……というワンセットの第1カテゴリーの対策があり、これらの対策がセメント製造プロセスの全体において採用、実施されると、これだけの省エネ効果があがる、ということはこの数字は表現している。

第2および第3のカテゴリーの対策は196Mcal (20.7ℓ)/t-clの省エネルギーを達成することができる、と推定される。このうち106Mcal (11.2ℓ)は表5.32にみられるように、キルンの改造およびリプレースメントによるものである(同表中の改造およびリプレースメントによる省エネの合計値)。また、90Mcal(9.5ℓ)は表5.31中のその他の対策 — 但し、1999年までには商業化されないであろう流動床炉を除く — によるものである(同表中のSP, NSPへの改造およびリプレースメント、ならびにNSPの流動床炉へのリプレースメントを除く各