

エネルギー環境経済システム

藤井 康正 著

コロナ社



1. 序 論

1.1 超長期の地球的規模の課題	1
1.1.1 地球の有限性	1
1.1.2 持続可能な開発	4
1.2 エネルギー環境経済システムとは	6
1.2.1 三つのシステム	6
1.2.2 視点や価値指標としてのエネルギー, 環境, 経済	8
1.2.3 エネルギー環境経済システムの対象	9
1.2.4 エネルギー環境経済システムのモデル化	10
1.2.5 複合的な学問領域とさまざまな関連トピック	12
1.3 本書の構成	12

2. エネルギー技術

2.1 エネルギーの物理的な分類	14
2.1.1 熱エネルギー	15
2.1.2 化学エネルギー	18
2.1.3 力学エネルギー	20
2.1.4 電気・磁気エネルギー	23
2.1.5 光量子エネルギー	33
2.1.6 核エネルギー	35
2.2 エネルギー変換	42
2.2.1 熱機関とヒートポンプ	43
2.2.2 電動機と発電機	52

2.2.3	燃料電池と電気分解	55
2.2.4	発光ダイオードと太陽電池	58
2.2.5	電力変換	60
2.2.6	燃料合成	64
2.3	エネルギー輸送	66
2.3.1	エネルギー輸送技術	66
2.3.2	各種燃料の輸送	67
2.3.3	熱エネルギーの輸送	68
2.3.4	電気・磁気エネルギーの輸送	69
2.4	エネルギーの貯蔵	72
2.4.1	エネルギー貯蔵技術	72
2.4.2	電気・磁気エネルギーの貯蔵	72
2.4.3	熱エネルギーの貯蔵	75

3. エネルギーシステム

3.1	エネルギーシステムの概要	77
3.1.1	社会におけるエネルギーの分類	77
3.1.2	エネルギーバランス表	79
3.2	化石燃料のエネルギーシステム	81
3.2.1	化石燃料資源の埋蔵量	81
3.2.2	石炭資源	84
3.2.3	石油資源	85
3.2.4	天然ガス資源	87
3.3	核燃料のエネルギーシステム	89
3.3.1	核燃料資源	89
3.3.2	原子炉	92
3.3.3	使用済燃料の再処理	98
3.3.4	核融合炉	102
3.4	再生可能エネルギー資源と利用システム	106
3.4.1	再生可能エネルギーの利用可能量	106
3.4.2	水力エネルギー	106

3.4.3	地熱エネルギー	107
3.4.4	太陽エネルギー	109
3.4.5	風力エネルギー	113
3.4.6	バイオマスエネルギー	115
3.4.7	海洋エネルギー	117
3.5	電力システム	120
3.5.1	電力システムの構成	120
3.5.2	火力・原子力・水力発電の種類と特性	121
3.5.3	電力システムの周波数制御	122
3.5.4	大規模集中電源と小規模分散電源	124
3.5.5	自然変動電源	126
3.6	石油製品供給システム	127
3.7	ガス供給システム	129
3.8	最終エネルギー消費	130
3.8.1	需要部門と省エネルギーの概要	130
3.8.2	日本の産業部門におけるエネルギー消費	131
3.8.3	日本の民生部門におけるエネルギー需要	135
3.8.4	日本の運輸部門におけるエネルギー需要	137
3.8.5	廃棄物利用による省エネルギー	139

4. エネルギーと環境

4.1	エネルギー利用による環境問題	140
4.2	大気汚染問題	142
4.2.1	酸性雨	142
4.2.2	硫黄酸化物・窒素酸化物の排出削減	143
4.2.3	その他の大気汚染と対策技術	145
4.3	気候変動問題	146
4.3.1	気候変動問題のこれまでの動向	146
4.3.2	温室効果と気候変動問題	147
4.3.3	炭素循環	154
4.3.4	CO ₂ 排出量削減技術	155

4.3.5	CO ₂ 回収貯留技術	157
4.4	放射能汚染	163
4.4.1	放射線の単位	163
4.4.2	放射線被曝の人体への影響	165
4.4.3	放射性廃棄物の処理	167

5. エネルギー環境と経済

5.1	概 要	170
5.2	経済性評価	170
5.2.1	資金の時間的価値	170
5.2.2	投資判断の方法	172
5.2.3	最適化計算	173
5.3	最適電源計画	177
5.3.1	発電コスト	177
5.3.2	スクリーニングカーブ法による最適電源構成の導出	180
5.3.3	数理計画法による最適電源構成の導出	183
5.3.4	最適電源計画モデル	185
5.4	エネルギー市場のモデル	187
5.4.1	エネルギー供給の費用曲線	187
5.4.2	エネルギー需要関数	188
5.4.3	社会厚生	191
5.4.4	独占・寡占市場	193
5.5	エネルギー経済モデル	195
5.5.1	部分均衡と一般均衡	195
5.5.2	産業連関表	195
5.5.3	生産関数と効用関数	197
5.5.4	一般均衡モデル	202
5.6	不確実性のモデル化	206
5.6.1	レジリエンス向上施策と不確実性	206
5.6.2	確率動的計画法	209
5.7	環境と経済	214

5.7.1 外部不経済	214
5.7.2 環境価値の評価	216
5.7.3 環境政策の分類	216

6. エネルギーの長期シナリオ

6.1 エネルギーモデル	220
6.1.1 定式化によるエネルギーモデルの分類	220
6.1.2 目的によるエネルギーモデルの分類	222
6.2 エネルギー消費の長期シナリオ	223
6.2.1 GDP とエネルギー	223
6.2.2 最終需要のエネルギー種別シェア	226
6.3 DNE21 モデルによる長期シナリオ	226
6.3.1 DNE21 モデルの概要	226
6.3.2 基準シナリオ	230
6.3.3 気温制約を考慮に入れた最適エネルギーシステム構成	231

7. バランスのとれたエネルギーの利用を目指して

7.1 エネルギーベストミックス	239
7.2 今後のおもな課題	242

引用・参考文献	244
---------	-----

索引	247
----	-----



まえがき



本書は筆者が東京大学や横浜国立大学で行ってきたエネルギーシステムに関する講義のノートやスライドを整理したものである。これらの講義は、両大学の電気系工学科の学生を対象として20年近く前に始めたものであるが、最近では文理融合の総合工学を目指すシステム創成学の学部生や社会科学系の大学院生の聴講も想定した分野横断の講義へと変化してきている。そのため読者の専門分野にかかわらず、エネルギー、環境、経済の広範な分野に関する基礎的事項を系統的に学べる教科書ができればと思い本書を執筆することにした。また、大学生だけでなく、エネルギー環境にかかわる行政の政策立案者や企業のプロジェクト立案者にも、業務の参考書として利用してもらえればと思い、比較的多くのコラムを挿入するなどし、実社会での課題などもできるだけ記述するようにした。ただ、筆者の能力不足や思い込みで、説明が不足していたり偏っていたりする箇所も多いと思われる。最近ではインターネットでの検索が容易になったことから、本書で示したキーワードなどを手掛かりに、読者自身で必要な情報を探し出し、さらに深く勉強していただければと思う。

ところで6章では、2015年12月に採択されたパリ協定を考慮したエネルギーの長期シナリオを示したが、そのシナリオを描くために、世界エネルギーモデルDNE21 (Dynamic New Earth 21) の計算コードを用いた。このモデルは、1995年に筆者が横浜国立大学の電子情報工学科の専任講師の頃に、前身のNE21 (New Earth 21) を改良する形で開発したものである。その後DNE21はいくつかの改良を経て、国内の研究機関において2015年頃まで現役の統合評価モデルとして活用された。開発当初は1回の数値計算に1週間くらいの時間を要したこともあったが、ハードの進歩と商用ソフト (IBM社のCPLEX) の利用で、今回の計算ではそれが数秒に短縮された。この所要時間

の変化に、20年以上の長い年月が経ってしまったことを思い知らされた。

この20年の間に、京都議定書の採択・発効、シェールガスや再生可能エネルギーの利用拡大、原子力発電所の過酷事故、原油価格の乱高下、中国経済の躍進など、さまざまな出来事が起きた。ただその中で、筆者の予想が大きくはずれたことといえば、それは温室効果ガスの濃度上昇による気候変動問題が、日本だけでなく世界的にも、これほどまでに継続的にかつ広範に社会の関心を集め続けていることである。低炭素社会の実現などを標語に、いまでは小中学生にも当然のように知られる問題となった。しかし、1988年以来この気候変動問題を見続けている古参の研究者としては、この問題に付随する科学的な不確実性が一般にはあまり認識されていないような気がして、逆に少し心配になることもある。本書ではこの不確実性の問題についても随所で意識して触れることにした。

さらに本書の執筆過程で意識せざるを得なかったことは原子力発電の扱いである。2011年3月の東京電力福島第一原子力発電所の事故以降、日本の世論調査では、本書執筆時点でも原子力発電に反対する意見が過半数を超えている。世界的にも脱原発を決定した国も少なくない。ただ、筆者自身は原子力発電を火力発電に代わる発電技術として将来的にも確保すべき重要な選択肢の一つであると考えている。原子力工学は筆者の本来の専門分野ではないが、本書ではやや詳しく記述することにした。少しでも多くの読者に原子力について知ってもらえればと思うからである。改めて調べてみると、筆者自身もそうであったが、原子力に関する予想外の事実にもいろいろと気付くのではないかと思う。

本書の執筆にあたり、コロナ社のご担当の方々にはいろいろとご迷惑をお掛けした。関係者のご尽力がなくては本書の発刊は実現できなかったと思う。心より御礼申し上げたい。

2018年4月

藤井 康正

1

序 論



1.1 超長期の地球的規模の課題

1.1.1 地球の有限性

石油製品，都市ガス，電力などの形で供給されるエネルギーは，現代社会の経済活動を支える必需財である。自動車や工場の生産設備の動力源として，オフィスや住宅の空調，給湯の熱源として，またコンピュータや照明機器などの電源として，さまざまな形態でエネルギーが消費されている。このように現代社会にはなくてはならないエネルギーであるが，その利用には，さまざまな問題が伴う。その具体例を順不同でいくつか挙げると以下のようになる。

- ・石油，天然ガス，石炭，ウランなどの地下資源の枯渇
- ・化石燃料の燃焼による CO₂ が原因とされる地球温暖化
- ・排気ガス（以降，排ガスと記述）に含まれる硫黄酸化物，煤塵などによる大気汚染
- ・災害や事故による発電所や輸送流通設備からの有害物の漏えい
- ・燃料用木材の過剰伐採を原因とする森林破壊
- ・ダムや風車などの発電設備の設置が及ぼす生態系への悪影響
- ・燃料価格の乱高下による貿易収支，企業収益，家計への悪影響
- ・輸入エネルギーの供給途絶に関する懸念
- ・エネルギー利用に伴う副産物，廃棄物への懸念
- ・平和利用目的の核物質の兵器転用への懸念

このようなエネルギー問題の中で、特に資源枯渇や環境影響の問題は、**地球の有限性**が根本原因となるため、それへの対応は人類存亡にかかわる重要な課題といえる。現状の継続は長期的には不可能であり、将来的には社会におけるエネルギーの利用の仕方を大きく変化させる必要がある。

この地球の有限性は、1972年に**ローマクラブ**によって世界各国の言語で出版され、ミリオンセラーとなった『成長の限界』¹⁾という本でも中心的なキーワードとして取り上げられた。その本では、米国マサチューセッツ工科大学の



コラム 1

第一次石油危機

『成長の限界』が出版された翌年の1973年に、偶然ではあるが、中東地域の紛争が原因となって、原油価格が1バレル当り3ドルから12ドルに跳ね上がる第一次石油危機が勃発し、世界経済が大混乱に陥るといふ歴史的な出来事があった。この石油危機は、資源枯渇とは無関係であったが、それまで安価であった石油が全世界的な規模で急騰したことで、『成長の限界』の警告は現実味を帯びて社会に受け入れられた。

この石油危機の日本経済への影響はきわめて大きかったように思われる。経済成長率は第二次世界大戦後で初めてマイナスを記録するとともに、消費者物価指数は20%以上も高騰した。街中ではトイレットペーパーや洗剤の買い占め騒動が起きた。筆者自身も、当時は低学年の小学生であったが、遠足に持参するお菓子の値段が大幅に上がり、子供ながらに社会の大きな変化を実感した。

さらに、この石油危機は、世界各国のエネルギー政策や研究開発にも大きな影響を与えた。西側先進国を中心に脱石油のエネルギー政策が進められ、1974年にはエネルギー安全保障を高めるために国際エネルギー機関（IEA: International Energy Agency）が設立された。日本では、当時の通産省工業技術院により、1974年から太陽、地熱、石炭、水素エネルギー技術などの新エネルギー技術を対象としたサンシャイン計画が、そして1978年からは高効率発電やヒートポンプなどの省エネルギー技術を対象としたムーンライト計画がそれぞれ実施された。国家予算を背景に、さまざまなエネルギー関連技術の利点や課題のほとんどがこの頃に洗い出されており、それらをまとめた報告書などは、現時点でも大変参考になる。両計画の研究成果は、その後1980年代後半から始まる日本における地球温暖化対策の基盤的知識にもなったと考えられる。

† 肩付数字は巻末の引用・参考文献番号を示す。

デニス・メドウズを主査とする国際チームが実施したシステムダイナミクスと呼ばれるコンピュータシミュレーションを用いた世界モデルの研究成果が取りまとめられた。そこでは、有限な世界では経済成長を継続することは不可能であり、特に**指数関数的成長**を続ければ、人類社会は100年以内に地球の有限性の壁に突き当たり破局を迎えるとの警告がなされた。地球があたかも無限と見なす従来の考え方を改め、世界的な定常状態を目指す必要があると論じた。これは、18世紀末にマルサスが出版した『人口の原理』²⁾の現代版ともいえる。当時マルサスは、幾何級数的な人口増加に対し、食糧生産は算術級数的にしか増やせないため、いずれ食糧は不足してしまうと予言した。

指数関数的成長の凄まじさはつぎの例で理解できる。机の左端にコイン（直径2 cm，厚さ2 mm）を1枚置き、その右隣に2枚を積み重ねて高さ4 mmのコインの塔を作り、そのまた右隣に4枚を積み重ねて高さ8 mmの塔を作り、…と右隣に倍の枚数のコインを積み重ねて塔を作る操作を繰り返すとする。図1.1に示すようにコインの塔は明らかに机の左から右に向けて指数関数的に高くなる。机の幅が1 mであれば、もしこの操作を最後まで繰り返せたとすると、机の右端に積み重ねられたコインの塔の高さは 2^{50} mmとなる。これはおよそ10億 kmであり、太陽から木星の距離よりも長くなる。



図1.1 倍の高さのコインの塔を右隣に作る操作

ところで、『成長の限界』でなされた警告に対しては、科学技術の進歩による資源の利用効率の改善や代替資源の開発の効果などが軽視されており、あまりにも悲観的過ぎるとの批判もなされた。このような批判は当然であり、それはその古典版であるマルサスの予言が、実際には的中しているとは言い難いことからわかる。化学肥料の発明などの技術進歩により、マルサスの時代から

比べると人口は爆発的に増加したにもかかわらず、現時点では全世界的な食糧不足は起きておらず、将来的な人口のさらなる増加を考慮しても、食糧需給を悲観視する見通しは昨今ではあまり見かけない。

1.1.2 持続可能な開発

地球の有限性に起因する資源枯渇や環境影響の問題は大きく2種類に分けられる。一つは、石油などの枯渇性資源の消費に関する**ストック型の問題**である。枯渇性資源は、単位時間当りの消費量を一時的に増やせる自由度がある一方で、単位時間当りの消費量をいくら削減してもわずかでも消費を続ける限りは、枯渇という破局は避けられない。もう一つは**フロー型の問題**で、森林資源などの再生可能資源の消費や、CO₂などの廃棄物排出に関するものである。この場合、単位時間当りの消費量や排出量がある一定量（閾値）を超えると問題が発生するが、逆にそれ以下であれば特に問題とはならない。ただ、フロー型の問題の最終的な影響は、森林破壊や大気中CO₂濃度の増加など、ストック型の問題の形で起きることもある。

このようなストック型とフロー型の両タイプの問題を整理し、それらを回避するための物理的条件として表現されたものが、持続可能な開発に関する**ハーマン・デイリーの三原則**³⁾と呼ばれる条件であり、以下にはそれらを簡潔に示す。ここでの資源はエネルギー資源だけに限定されない。

- ① 再生可能資源はその再生ペースを超えて消費してはならない。
- ② 廃棄物は自然浄化能力を超えて排出してはならない。
- ③ 枯渇性資源は再生可能資源での代替ペースを超えて消費してはならない。

上記の3原則で、①と②はフロー型の問題に対する条件であり、比較的自明でわかりやすい。ここでの問題は③で表現される条件である。③の含意は、再生可能資源で代替可能となる前にそれが枯渇してしまわないように、枯渇性資源は節約しながら消費せよということである。しかし、代替手段の開発速度や資源枯渇までの期間の長さは関連技術の進歩や資源の経済価値などの人為的要

因に大きく左右されるうえ、枯渇までの期間が数百～数万年と非常に長い場合もあるため、具体的な議論は難しい。有益な示唆を得るには、次節で述べるエネルギー環境経済システムという枠組みでの定量的な検討が必要である。

ところで**持続可能な開発**という理念は、1987年に国連の「環境と開発に関する世界委員会」による**ブルントラント報告**⁴⁾でも提起され、この理念は「将来世代のニーズを満たす能力を損なうことなく、現代世代のニーズを満たすような開発」と説明されている。そこでは発展途上国の**貧困問題**という**南北問題**も含む、より広範な人類社会の課題が対象となっている。

持続可能な開発には、将来世代への悪影響を抑制するために、現代世代の活動を制限すべきとの**世代間倫理**の主張が基本にある。ただ世代間倫理に配慮するあまり現代世代の自由を必要以上に制限しないように、そしてそれを口実に、独善的な組織などに将来世代の意見を勝手に代弁させないように、注意が必要である。現代と将来の問題をバランスよく考えることが重要であり、まさにその判断に人類の英知が試されているといえる。

ところで、人口増加は資源消費を増長させるため、持続可能な開発に対する大きな障害要因になると考えられる。しかし、**人口抑制政策**は人権侵害や人種差別につながる恐れがあることや、宗教上も問題視される場合もあることから、それを持続可能な開発の直接的な目標とすることはあえて避けられてい



コラム 2

海水淡水化

中東諸国を始めとしてさまざまな国で海水淡水化装置が利用されている。蒸発法と膜法（逆浸透法）の2種類があり、昨今はエネルギー効率の高い膜法が主流となっている。膜法では、淡水1トンの製造費用は100～200円とされ通常の水道料金よりは数割高く、電力消費量は6kWh/トン程度とされる。日本の発電電力量は年間約1兆kWhであるが、仮にこの電力量のすべてを利用すると約1600億トンの淡水が得られる。それに対して、日本の年間水使用量は農業用水を含めても約800億トンであり、年間の全降水量は約6400億トンである。国連の持続可能な開発の目標の一つに安全な水の確保があるが、もし豊富なエネルギーが利用できれば、水不足の問題はかなり緩和されるものと思われる。



索引



【あ】			
アンペアの法則	25	可採年数	83
【い】		茅の恒等式	155
一次エネルギー	77	カルーシュ・クーン・	
イベントツリー	210	タッカー	174
【う】		カルノーサイクル	44
ウィーナー過程	208	間接効用関数	201
ウィーンの変位則	34	【き】	
渦電流	28	気候感度	152
【え】		気候変動	7
エクセルギー	49	——に関する政府間	
エネルギー担体	78	パネル	7
エネルギー保存則	14	ギブスの自由エネルギー	19
エンタルピー	18	規模の経済	125
エントロピー	16	吸収線量	164
【お】		供給予備率	184
オイラーの方程式	21	京都議定書	146
汚染者負担原則	215	キルヒホッフの法則	35
オープンホール	141	禁制帯	31
温室効果	148	【く】	
【か】		クールノー・ナッシュ	
界磁	52	均衡	194
回生	54	クローン力	23
海洋温度差発電	119	【け】	
ガウスの法則	23	結合エネルギー	36
価格弾性値	189	結合係数	60
核拡散防止条約	101	限界効用	189
確率過程	207	限界費用	187
確率微分方程式	208	減価償却	177
		顕示選好法	216
		【こ】	
		高位発熱量	18
		交差価格弾性	199
		高速中性子	40
		枯渇性資源	77
		黒液	134
		国際放射線防護委員会	165
		コージェネレーション	
		システム	50
		コースの定理	215
		コブ・ダグラス型関数	198
		コベネフィット	217
		【さ】	
		再生可能資源	77
		【し】	
		シェパードの補題	199
		死荷重損失	193
		自己インダクタンス	26
		自己価格弾性	199
		支出関数	200
		磁束保存則	25
		実効値	28
		支払意思額	188
		資本減耗率	205
		資本報酬率	206
		習熟効果	186
		周波数制御	122
		純粋時間選好率	205
		準静的変化	16
		状態方程式	175
		消費者余剰	192
		所得弾性値	190
		自律的エネルギー効率	
		改善	225

【す】		【と】		【ひ】	
推測的変動	194	等価変分	201	光起電力	59
スケール効果	186	統計的生命価値	217	ピグー税	217
スツルスキー方程式	201	統合評価モデル	11,220	比視感度	33
ステファン・ボルツマン の法則	18	等産出曲面	198	ヒステリシス損	24
		動的計画法	176	ヒックスの需要関数	201
【せ】		特殊相対性理論	35	費用効果分析	217
正 孔	31	都市ガス	129	標準電極電位	55
生産者余剰	192	トランスログ型関数	200	費用便益分析	217
成績係数	48			表明選好法	216
静電容量	25	【な】		【ふ】	
石油換算トン	81	ナビエ・ストークスの 運動方程式	21	ファラデー定数	55
石油精製	127			ファラデーの法則	26
石油増進回収	86	【に】		フィッシャー・ トロブシュ法	65
世代間倫理	5	二次エネルギー	77	フェルミ準位	31
施肥効果	155	ニュートンの冷却則	17	フォールトツリー	211
線形計画法	174	ニューメレール	204	負荷持続曲線	181
潜在価格	174			複合サイクル	50
		【ね】		ブラウン運動	208
【そ】		根岸加重	204	ブラズマ	42
相互インダクタンス	60	熱中性子	40	プランク関数	34
速度起電力	27	熱電効果	49	フーリエの法則	17
		熱伝導	17	プルサーマル利用	100
【た】		熱電併給	50		
大気直接回収	162	熱の拡散方程式	17	【へ】	
代替弾力性	197	年経費率	179	ベッツの上限	22
太陽発電衛星	111			ベルヌーイの定理	21
対 流	17	【は】		ベルマン方程式	212
		排出権取引	219	【ほ】	
【ち】		発光効率	34	崩壊熱	39
地球温暖化係数	151	パッシブソーラー	136	放 射	17
地層処分	168	波動方程式	28	放射強制力	149
潮流計算	70	ハーバー・ボッシュ法	69	補償需要関数	201
直接規制	219	ハーマン・デイリーの 三原則	4	補償変分	201
		パリ協定	147	ホテリングルール	176
【て】		半減期	37	ポーモル・オーツ税	218
低位発熱量	18	バンドギャップ	31		
低線量被曝	166	反応断面積	40	【ま】	
電力方程式	70			マークアップ率	193

マクスウェル・アンペアの法則 27
 マクスウェル方程式 28
 マーシャルの需要関数 201

【む】
 無効電力 29
 無差別曲面 200

【め】
 メタンハイドレート 83
 メリットオーダー曲線 188

【ゆ】
 有効電力 29
 誘導起電力 26

【よ】
 予防原則 9

【ら】
 ラムゼー方程式 206
 ラムゼーモデル 205

【り】
 力 率 29

【れ】
 レイノルズ数 21
 レオンチェフ型関数 198
 レオンチェフ逆行列 196
 連鎖反応 93
 レンツの法則 63

【ろ】
 ローソン条件 104
 ローレンツ力 27

【わ】
 ワンスルー方式 100

【C】
 CES 型関数 197
 COP 48

【F】
 FIT 127

【H】
 HHV 18

【I】
 ICRP 165
 IPCC 7
 IS プロセス 65

【K】
 KKT 174

【L】
 LHV 18

【N】
 n 形半導体 31

【P】
 p 形半導体 31

【R】
 RPS 127

— 著者略歴 —

1988年 東京大学工学部電気工学科卒業
1990年 東京大学大学院工学系研究科修士課程修了（電気工学専攻）
1993年 東京大学大学院工学系研究科博士課程修了（電気工学専攻）
博士（工学）
1993年 横浜国立大学助手
1995年 横浜国立大学講師
1997年 横浜国立大学助教授
1999年 東京大学助教授
2007年 東京大学准教授
2008年 東京大学教授
現在に至る

エネルギー環境経済システム

Energy, Environmental and Economic Systems

© Yasumasa Fujii 2018

2018年6月18日 初版第1刷発行



検印省略

著者 藤井 康正
発行者 株式会社 コロナ社
代表者 牛来真也
印刷所 三美印刷株式会社
製本所 有限会社 愛千製本所

112-0011 東京都文京区千石 4-46-10
発行所 株式会社 コロナ社
CORONA PUBLISHING CO., LTD.
Tokyo Japan

振替 00140-8-14844・電話 (03) 3941-3131 (代)
ホームページ <http://www.coronasha.co.jp>

ISBN 978-4-339-06646-3 C3040 Printed in Japan

(三上)



<出版者著作権管理機構 委託出版物>

本書の無断複製は著作権法上での例外を除き禁じられています。複製される場合は、そのつど事前に、出版者著作権管理機構（電話 03-3513-6969, FAX 03-3513-6979, e-mail: info@jcopy.or.jp）の許諾を得てください。

本書のコピー、スキャン、デジタル化等の無断複製・転載は著作権法上での例外を除き禁じられています。購入者以外の第三者による本書の電子データ化及び電子書籍化は、いかなる場合も認めていません。落丁・乱丁はお取替えいたします。