

サービス需要を考慮した世界の鉄鋼需要量 に関する研究

東 章吾¹・河瀬 玲奈²・松岡 譲³

¹非会員 京都大学大学院修士課程 工学研究科都市環境工学専攻

(〒615-8540 京都府京都市西京区京都大学桂Cクラスター)

E-mail: shogo_0424@yahoo.co.jp

²正会員 京都大学大学院助教 工学研究科都市環境工学専攻

³正会員 京都大学大学院教授 工学研究科都市環境工学専攻

本研究ではエネルギー集約素材の代表である鉄鋼を取り上げ、鉄鋼を含む財ストックが提供するサービスの需要量、その財ストックに含まれる鉄鋼ストック量、およびストックに新規に追加される鉄鋼需要量の推計を行うモデルを構築し、2005年から2050年までの推計を行った。また、将来社会におけるシナリオは各種パラメータを2005年の値で固定する固定シナリオの他に3つのシナリオを想定し、それぞれにおける鉄鋼ストック量と鉄鋼需要量の削減効果の検討を行った。その結果、2050年において鉄鋼需要量は素材の高度化や財ストックの効率改善を想定する混合シナリオで、固定シナリオと比べ最大で40%の削減効果が得られ、サービスの質を維持しながら物質需要量を削減する脱物質化社会への転換の可能性が示された。

Key Words : energy intensive material, iron and steel, service demand, material stock, material demand

1. はじめに

我々が生活している今日の社会は、大量の物質の利用を基盤とした物質社会である。その物質社会を構成する財の供給を担ってきたのは産業部門である。産業部門は地球環境への負荷が大きく、例えばエネルギー関連のCO₂排出量は、全体の約40%にもなる¹⁾。中でも鉄鋼産業はCO₂排出量が大きく、全産業から排出されるCO₂のうち、29%が鉄鋼部門由来である¹⁾。

鉄鋼は社会に投入されたのち、社会資本や生産資本などの様々な形で社会に蓄積され、我々はこれらの財を利用することで財が供給するサービスを享受している。近年では、中国やインドなどの発展途上国の急激な経済成長と都市化の進展により、これらの財が供給するサービスに対する需要量が増加しており、財の生産に投入される鉄鋼の需要量は急激に伸びてきた。発展途上国は依然として成長段階にあり、今後も鉄鋼の需要量が増加していくと考えられる。一方で、先進諸国については、ある程度、物的に飽和しており、その維持に関する需要が主な鉄鋼需要の要因となっている。

地球温暖化を抑制するためには、世界で2050年までにGHG排出量を1990年比50%削減することが求められ

ている²⁾。この目標を達成するための対策を検討するには、エネルギー集約素材である鉄鋼の需要量を、世界各地域において定量的に把握する必要がある。鉄鋼需要量の駆動力は、鉄鋼最終需要および中間投入財とする。これらの財の生産量は、財ストック量、ひいては、その財ストックが供給するサービス量の需要により影響を受ける。したがって、鉄鋼需要量を推計するためには、サービス需要から鉄鋼需要まで一貫して推計を行う必要がある。

鉄鋼需要量の推計に関する研究はあるが^{3) 4)}、鉄鋼が供給するサービス需要に基づいて鉄鋼需要を推計し、全世界を網羅した地域分類にて、鉄鋼を含むすべての財を対象にした研究は行われていない。

そこで、本研究では、世界35地域別に2050年までの鉄鋼需要量を推計することを目的とし、以下のステップで解析を進める。

- ・鉄鋼を含む財が供給するサービスの需要量を推計し、
- ・そのサービス需要量を満たすために必要となる財ストックの需要量およびそれらの財に含まれる鉄鋼ストック量を推計する。
- ・その鉄鋼ストック需要量を満たすために必要となる鉄鋼需要量を推計する。

2. 研究の内容

(1) モデルの概要

本研究では、世界を 35 地域に分割し、検討を進めた。推計の対象期間は 2005 年を基準年とし、2050 年までである。表-1 に本研究で対象とする世界 35 地域区分を示す。また、本研究の全体像を図-1 に示す。

表-1 対象とする地域

コード	日本語	コード	日本語
JPN	日本		中南米
CHN	中国	MEX	メキシコ
IND	インド	ARG	アルゼンチン
USA	アメリカ	BRA	ブラジル
CAN	カナダ	XLM	その他中南米諸国
	その他アジア		オセアニア
IDN	インドネシア	AUS	オーストラリア
KOR	韓国	NZL	ニュージーランド
THA	タイ	XOC	その他オセアニア
MYS	マレーシア		ヨーロッパ
VNM	ベトナム	RUS	ロシア
TWN	台湾	XE15	初期EU所属国
SGP	シンガポール	XE10	その他EU所属国
PHL	フィリピン	XE2	その他東欧
XSE	その他東南アジア	XEWI	その他西欧付属 書I 国
XSA	その他南アジア	XEEI	その他東欧付属 書I 国
XEA	その他東アジア	XENI	その他ヨーロッパ
XCS	中央アジア		アフリカ
XME	中東諸国	ZAF	南アフリカ共和国
TUR	トルコ	XAF	その他アフリカ

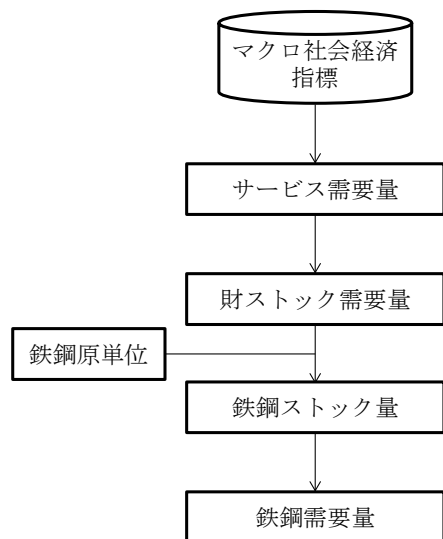


図-1 本研究の全体像

本研究の主要な部分は、サービス需要量の推計、そのサービスを供給するために必要となる財のストック量および鉄鋼ストック量の推計、財生産のための鉄鋼需要量の推計であり、大きく分けて、次の五つの式で表される。

$$\bullet \text{ サービス需要量} = f(\text{マクロ社会経済指標})$$

- ・ サービス需要量 = サービス供給量
- ・ 財ストック量 = $f(\text{サービス供給量})$
- ・ 鉄鋼ストック量 = $f(\text{財ストック量})$
- ・ 鉄鋼需要量 = $f(\text{鉄鋼ストック量})$

それぞれの推計の定式化については本章(2)節および(3)節に示す。定式化に使用した集合とサフィックスを表-2に示す。

表-2 定式化に使用した集合、サフィックス

記号	説明
r	: 国、地域
t	: 年
u	: サービスの種類(大分類)
up	: サービスの種類(小分類)
s	: 財の種類
SU	: サービス大分類(u)の集合
SUP_T	: サービス小分類(up)の集合
SUP^u	: サービス大分類(u)に属するサービス小分類の集合
SP^{up}	: サービス(up)を産出するストック財の集合、要素は s

表-3 サービスの分類

分類番号	サービス種	サービス供給量を表す変数	単位
	大分類(u)	小分類(up)	
1	住居	住居	住居床面積 100万 m^2
2	その他家計	その他家計	その他家計鉄鋼ストック量 100万ton
3	産業生産	産業生産	部門別GDP 10億USD
4	発電	火力発電	発電電力量(火力) 10億kWh
5		水力発電	発電電力量(水力) 10億kWh
6	旅客輸送	短距離	旅客輸送量(短距離) 10億人-km
7		中距離	旅客輸送量(中距離) 10億人-km
8		長距離	旅客輸送量(長距離) 10億人-km
9		超長距離	旅客輸送量(超長距離) 10億人-km
10	貨物輸送	短距離	貨物輸送量(短距離) 10億ton-km
11		中距離	貨物輸送量(中距離) 10億ton-km
12		長距離	貨物輸送量(長距離) 10億ton-km
13	水需要	農業用水	灌漑面積 1000km 2
14		工業用水	工業用水需要量 10億m 3
15		生活用水	サービス供給可能な人口 100万人
16	汚水処理	汚水処理	サービス供給可能な人口 100万人
17	治水・公園等	治水・公園等	治水・公園等鉄鋼ストック量 100万ton

また、本研究で対象としたサービスの分類を表-3に、それらのサービスを供給する財の分類を表-4に示した。なお、ここでサービスとは鉄鋼を含む財が供給するサービスのことである。表-4の一番右の「提供するサービス」の列は、その財ストックが供給するサービスの番号を表しており、表-3のサービスの分類の番号と対応する。例えば、住居サービス需要量は住居床面積で表されるが、このサービスは財ストックである構造別住居床面積にて供給される。また、乗用車と道路の二つの財ストックにより、旅客輸送（短距離、中距離、長距離）サービスが供給される。産業生産サービスは22の産業分類にて扱う。

(部門の分類は、付録に示す。)ただし、発電、旅客輸送、貨物輸送、水供給、汚水処理は産業生産サービスには含まず、個別に取り上げた。また、鉄道旅客車両によって供給されるサービスは中距離旅客輸送と長距離旅客輸送とし、短距離旅客輸送サービスは乗用車、バス、バイク、自転車によってのみ供給される。また、鋼船に

よる旅客輸送サービスはシェアは小さいと判断されることが、世界全地域の統計が得られないことから対象外とした。また、表-4の財分類についても発電設備や灌漑設備などの財は生産資本には分類せず、生産資本は表-4にて個別に掲載されている財を除いたものである。さらに、橋梁、トンネル等はそれぞれ道路、鉄道線路の中で考慮した。

表-4 財の分類

財の分類(s)	単位	提供するサービス
住居	100万m ²	1
非住居	100万m ²	3
生産資本	100万ton鉄鋼	3
輸送機器(旅客)		
乗用車	100万台	6,7,8
バス	1000台	6,7,8
鉄道旅客車両	1000台	7,8
飛行機	機	9
バイク	1000台	6
自転車	100万台	6
輸送機器(貨物)		
トラック	1000台	10,11,12
鉄道貨物車両	1000台	11,12
鋼船	100万ton鉄鋼	11,12
交通資本		
道路	1000km	6,7,8, 10,11,12
鉄道線路	1000km	7,8,11,12
港湾	100万ton鉄鋼	11,12
空港	100万ton鉄鋼	9
生産資本(発電)		
汽力発電設備	100万kw	4
水力発電設備	100万kw	5
灌漑設備		
地表灌漑	1000km ²	13
点滴灌漑	1000km ²	13
スプリンクラー灌漑	1000km ²	13
工業用水道	10億m ³	14
生活用水供給設備		
生活用水道	100万人	15
共同水栓	100万人	15
汚水処理設備		
水洗式トイレ	100万人	16
浄化槽	100万人	16
治水等	100万ton	17
公園等	100万ton	17
他工業製品	100万ton	2

(2) サービス需要量の推計

サービス需要量は人口やGDPなどのマクロ社会経済指標にサービススケール指標に関する係数、および、サービスレベル指標を乗じて推計する。サービス需要量の推計に関する定式化を式(1)に示す。ただし、産業生産、汽力発電、水力発電サービスについては、外生的にサービス需要量を与えた。

$$\begin{aligned}
 U_{r,t}^u &= \sum_{up \in SUP^u} U_{r,t}^{up} \quad u \in SU, up \in SUP_T \\
 &= \sum_{up \in SUP^u} US_{r,t}^{up} \cdot UL_{r,t}^{up} \\
 &= \sum_{up \in SUP^u} asd_{r,t}^{up} \cdot UL_{r,t}^{up} \cdot SI_{r,t}^{up}
 \end{aligned} \tag{1}$$

$U_{r,t}^u$: サービス大分類(u)に属するサービスのサービス需要量
 $U_{r,t}^{up}$: サービス小分類(up)に属するサービスのサービス需要量
 $US_{r,t}^{up}$: サービスのスケールを示す指標
 $UL_{r,t}^{up}$: サービスのレベルを示す指標
 $asd_{r,t}^{up}$: マクロ社会経済指標とサービススケール指標の関係を示す係数
 $SI_{r,t}^{up}$: マクロ社会経済指標

サービススケール指標およびサービスレベル指標として使用した具体指標名および出典を表-5に示す。

表-5の一番左の番号は表-3のサービスの分類の番号に対応している。また、それぞれの変数名の後ろの括弧内の数字は、そのデータの引用先の文献番号を示す。

表-5 asd, SI, UL に使用した指標とその出典

サービスの分類	asd^{up}	UL^{up}	SI^{up}
1	1.0	一戸あたり住居床面積(6,7)	世帯数(5)
2	サービス供給率	一人あたり他家計鉄鋼ストック量(9)	人口(8)
3	1.0	1.0	部門別GDP(11)
4,5	1.0	1.0	発電電力量(汽力・水力)(11)
6,7,8,9	1.0	一人あたり一日あたり距離別旅客輸送量(10)	人口(8)
10,11,12	1.0	部門別GDPあたり貨物輸送量(10)	部門別GDP(11)
13	1.0	1.0	灌漑面積(12)
14	1.0	部門別GDPあたり工業用水需要量(13)	部門別GDP(11)
15	浄水アクセス率(12)	1.0	人口(8)
16	汚水処理設備アクセス率(12)	1.0	人口(8)
17	サービス供給率	一人あたり治水・公園等鉄鋼ストック量(9)	人口(8)

*それぞれの変数名の後ろの括弧内の数字はそのデータを引用した文献番号を示す

(3) 財ストック量、鉄鋼ストック量、鉄鋼需要量の推計

(2)で推計したサービス需要量は、1種類以上の財ストックより供給される。

$$\begin{aligned}
 U_{r,t}^{up} &= \sum_{s \in SP^{up}} U_{r,t}^{up,s} \\
 &= \sum_{s \in SP^{up}} ars_{r,t}^{up,s} \cdot U_{r,t}^{up}, \quad up \in SUP_T
 \end{aligned} \tag{2}$$

$U_{r,t}^{up,s}$: 財ストック s によるサービス種 up の供給量
 $ars_{r,t}^{up,s}$: サービス種 up の供給量に対する財ストック s のシェア

一方、サービス供給量は、財ストックにサービス産出係数と稼働率を乗じて産出される。本研究ではその量は需要量と等しいと仮定する。

$$U_{r,t}^{up,s} = aus_{r,t}^{up,s} \cdot asl^s \cdot S_{r,t}^s, \quad s \in SP^{up}, up \in SUP_T \tag{3}$$

$aus_{r,t}^{up,s}$: サービス産出係数、財ストック一単位によるサービス up の産出量

asl^s : 財ストックの稼働率
 $S_{r,t}^s$: 財 s のストック量

鉄鋼ストック量は、財ストック量に鉄鋼原単位を乗じて求め、この鉄鋼ストック量の動態式より、鉄鋼需要量を推計した。

$$MS_{r,t}^s = d_r^s \cdot S_{r,t}^s, \quad s \in SP^{up} \quad (4)$$

$$MI_{r,t}^s = MS_{r,t}^s - (1 - \delta_r^s) \cdot MS_{r,t-1}^s \quad (5)$$

$MS_{r,t}^s$: 財別鉄鋼ストック量
 d_r^s : 鉄鋼原単位(財一単位あたり鉄鋼量)
 $MI_{r,t}^s$: 鉄鋼のストックへの追加量
 δ_r^s : 減耗率

(4) 基準年データの整備

a) 使用したデータと欠損値の扱い

使用したデータのうち、既出以外のものを表-6に示す。これらの情報を35地域すべてにおいて収集することは不可能であり、その場合には社会経済的に類似の地域の情報を用いて推計を行った。表-7にこれらの情報が無い場合にどの地域の情報を用いたかを示す。表-7において、例えば左から7列目の污水处理設備アクセス率に関して、13行目のニュージーランド(NZL)の情報が欠損しているため、経済状況が類似しており、地理的にも近いオーストラリア(AUS)の値を用いたことを示している。

表-6 使用したデータ一覧

変数名	文献番号
サービス需要量の推計に用いたもの	
サービス需要量 ($U_{r,t}^{up}$)	
発電電力量(汽力・水力)	11
旅客輸送量(短・中・長・超長距離)	10
貨物輸送量(短・中・長距離)	10
サービス需要量の算出に用いたもの	
住宅戸数	12
サービス供給量の推計に用いたもの	
非住居床面積	16,17,18
乗用車、バス、トラック	10
飛行機	23
鉄道旅客車両、鉄道貨物車両	24
鋼船	25
バイク	26
自転車	27
道路	21
鉄道線路	21
第二次・第三次産業就業者率	21
労働力人口・失業率	21
住居構造別床面積シェア(日本)	14
非住居構造別床面積シェア(日本)	14
建築物構造別床面積シェア	7
種類別生活用水供給設備シェア	28
水洗トイレアクセス率	12
発電稼働率	16,22
鉄鋼ストック量・鉄鋼需要量の推計に用いたもの	
建築物構造別鉄鋼原単位	15
鉄鋼生産量	29
財別減耗率	30
財別鉄鋼ストック量	9

表-7 データが欠損している場合に代わりに用いた地域の一覧

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ARG	XLM						TUR					BRA		BRA	XLM				
AUS	NZL	NZL							NZL		TUR		NZL	CAN					
BRA	XLM					XLM									XLM	XLM			
CAN	USA					XE15	JPN									JPN	USA		
CHN																			
IDN						XSA	VNM						VNM		XCS				
IND	XSA						THA	XSA											
JPN																			
KOR																			
MEX	XLM						TUR					BRA	BRA						
MYS	IDN					KOR	THA							MEX			THA		
NZL					AUS	AUS								CAN					
PHL	XSA												MYS	MEX					
RUS						XE10	XENI								TUR				
SGP	KOR	IDN				KOR			IDN			KOR	KOR	KOR		KOR	KOR		KOR
THA	XSA																		
TUR						XME	XME					RUS							
TWN	KOR	KOR	KOR	KOR	KOR	KOR	KOR	KOR	KOR	KOR	KOR		KOR	KOR		KOR			
USA						XE15							CAN			JPN			
VNM	PHL	XSA				XSA	THA					IND		IND	XCS		IDN		
XAF												IND		IND	IND				
XCS						XE10	XAF					IND		IND				IDN	
XE10	XE15						XENI					RUS							
XE15												USA							
XE2						XE10	XENI					RUS					XENI		
XEA	XSA	XSA				XSA	XLM					IND		IDN	XCS		VNM	VNM	VNM
XEEI						XE10	XENI			XENI		RUS		RUS					
XENI												RUS		RUS	RUS				XEEI
XEWI						XE15						USA	XE15		XE15	JPN			
XLM												BRA		BRA					
XME												RUS		RUS	TUR		TUR		
XOC	XLM											BRA	XLM	BRA	XLM	XLM		XLM	XLM
XSA							VNM					IND		IND				VNM	VNM
XSE	XAF	XAF					XAF					IND		IND			XAF	VNM	VNM
ZAF	XAF					XAF	TUR	XAF				BRA	XAF	BRA	TUR		XAF		

*変数およびパラメータ名 1: 住宅比率 2: 一人あたり住居床面積 3: 灌漑面積あたり第一次産業GDP 4: 第二次産業あたり工業用水需要量 5: 浄水アクセス率 6: 污水处理設備アクセス率
7: 建築物構造別床面積シェア 8: 第二次第三次産業就業者一人あたり非住居床面積 9: 第二次第三次産業就業者率(対全就業者数) 10: 方法別灌漑面積比率 11: 発電稼働率 12: 水洗トイレアクセス率
13: 飛行機一機あたり輸送量 14: 旅客車両一台あたり輸送量 15: 自転車一台あたり輸送量 16: バイク一台あたり輸送量 17: 貨物車両一台あたり輸送量 18: 船舶一トンあたり輸送量
19: 乗用車一台あたり道路長さ 20: 鉄道一車両あたり線路長さ

以下では、統計などからは直接データが得られず、基準年データを整備するために表-6および表-7に示したデータから推計を行ったものについて説明する。

b) サービス需要量の推計に関するデータ

表-5で示した指標のうち、データの欠損地域の補完のために推計したパラメータについて示す。

一戸あたり住居床面積については、一戸あたり住居床面積のデータが得られた地域において、人口を世帯数で除した世帯あたり人数を用いて一人あたり住居床面積を推計し、この一人あたり住居床面積を一人あたり GDP や地理的關係など社会経済的に類似した地域に適用し、その地域の世帯あたり人数を乗じて一戸あたり住居床面積を推計した。

灌漑面積は、灌漑面積のデータが存在する地域における灌漑面積あたり第一次産業 GDP を推計し、これを社会経済的に類似した地域に適用した。

工業用水については、部門別 GDP あたり工業用水需要量は日本についてのみ得られたので、この値を全地域に適用した。

その他家計サービス、治水・公園等サービスのサービス供給率について説明する。これらのサービスのサービス需要量は、財固有単位で表現することが困難であるため、物量単位でサービス需要量を計測する。それぞれのサービスで一人あたり鉄鋼ストック量の値⁹⁾が先進国の中で最小のもの(その他家計サービス：0.13ton/人、治水等：7kg/人、公園等：0.84kg/人)を一人あたり鉄鋼ストック量の目標値とする。この値と、2005年での各地域の一人あたり鉄鋼ストック量の比率から供給率を算出する。2005年において目標値以上であれば供給率は100%とした。

c) 財ストック量の推計に関するデータ

式(3)のサービス産出係数は2005年におけるそれぞれの財によるサービス供給量を、2005年の財ストック量と稼働率の積で除することにより求め、この値を2050年まで一定とした。例えば、発電のサービス産出係数は、2005年の発電電力量を、発電設備と発電稼働率の積で除することにより設定した。また、財ストックの稼働率は、住居については住宅戸数を世帯数で除した住宅比率というものを考え、住宅比率が1未満の場合の住居の稼働率を1、住宅比率が1以上の場合の住居の稼働率を1/住宅比率にて設定した。住居以外の財ストックの稼働率で、表-6に記載していないものについては稼働率は1とした。

非住居床面積は、第二次・第三次産業就業者一人あたり非住居床面積に第二次・第三次産業就業者数を乗じて推計した。2005年における非住居床面積の値が得られた日本、アメリカ、ヨーロッパについて2005年における非住居床面積あたり第二次・第三次産業 GDP を算出

し、OECD加盟国については3地域の平均値を、それ以外の国については3地域の平均値の半分の値を用いて各国の2005年における非住居床面積を算出した。

乗用車、バス、トラック以外の輸送機器(旅客・貨物)については、データの存在する地域においてそれぞれの輸送機器一台あたりの旅客・貨物輸送量を推計し、これを社会経済的に類似した地域に適用した。

道路および鉄道線路については、データの存在する地域について乗用車一台あたりの道路長さ、鉄道車両(旅客・貨物)一台あたり線路長さを推計し、これらを社会経済的に類似した地域に適用した。

d) 鉄鋼ストック量、鉄鋼需要量の推計に関するデータ

土木構造物の鉄鋼ストック量は、土木構造物の財別(交通資本、生産資本(発電)、灌漑設備、工業用水道、生活用水供給設備、污水处理設備、治水等、公園等)には得られず、集約された1つの財としてその合計量⁹⁾が得られるのみである。鉄鋼原単位については、ほとんど得られない。そこで、日本の財ごとの鉄鋼原単位³⁰⁾の比を用いて、土木構造物の財ごとの鉄鋼ストック量の合計が報告値と等しくなるように調整計算を行い、2005年の土木構造物の財別鉄鋼ストック量を整備した。すなわち日本の鉄鋼原単位と2005年の財ストック量を乗じて、鉄鋼ストック量を求め、これを土木構造物合計の鉄鋼ストック量の報告値と等しくなるように各国の鉄鋼原単位の調整計算を行った(式(6))。

$$\sum \alpha_r^s \cdot d_r^s \cdot S_{r,t}^s = MS_N_{r,t}^s \quad (6)$$

α_r^s : 鉄鋼原単位調整パラメータ

d_r^s : 鉄鋼原単位(財一単位あたり鉄鋼量)

$MS_N_{r,t}^s$: 土木構造物合計の鉄鋼ストック量の報告値

(5) サービスレベル指標、サービススケール指標などの将来変化に関する設定

サービスレベル指標、マクロ社会経済指標とサービススケール指標の関係を示す係数などのパラメータは、2005年の値で2050年まで一定とした。以下の項では、経年的に変化させたパラメータについて説明する。なお、部門別GDP、発電電力量については表-5に示されたデータの2050年までの値を引用した。

a) 世帯数

2005年の人口を2005年の世帯数で除することにより世帯あたり人数を算出し、この世帯あたり人数を2050年まで一定として、2050年までの世帯数を推計した。

b) 一戸あたり床面積

一戸あたり住居床面積は、以下のように将来推計を行った。2005年の一戸あたり住居床面積を上記の世帯あたり人数で除して、2005年の一人あたり住居床面積を

推計し、その値が日本の一人あたり誘導居住面積水準³²⁾を超えていれば、その値で2050年まで一定とした。水準未満ならば2050年に水準に到達するように誘動し、これに世帯あたり人数を乗じて一戸あたり住居床面積を設定した。なお、日本の誘導居住面積水準は世帯の構成人数によりその値が異なっているが、ここでは各構成人数の世帯における一人あたり誘導居住面積水準の平均値を求め、29.6m²とした。

c) 灌漑面積

灌漑面積は2000年から2005年までの灌漑面積の平均変化率を2006年以降に適用して求めた。

d) 浄水アクセス率、汚水処理設備アクセス率

浄水アクセス率および汚水処理設備アクセス率は、2015年にはそれぞれのアクセス不可人口が2005年の半分になるというミレニアム開発目標(MDG)³³⁾を満たすように2015年のアクセス率を設定した。そして、2050年には各国のアクセス率が100%となるように誘動した。

e) その他家計サービス、治水・公園等サービスのサービス供給率

その他家計サービス、治水・公園等サービスのサービス供給率の将来設定について説明する。これらのサービスの2005年における一人あたり鉄鋼ストック量が目標値以上であれば2050年まで一定とし、サービス供給率は100%とした。2005年においてその値に達していない国は、2050年までに非サービス供給率が2005年の半分になるように誘動した。

(6) 鉄鋼需要量抑制策に関するケース

本研究では鉄鋼需要量抑制策に関し、4つのケースを想定した。以下で、それぞれのシナリオについて説明する。

a) 固定ケース

サービス需要について、サービスレベルあるいはサービススケールの向上など(5)節で設定した変化を見込むが、鉄鋼需要抑制のための直接的対策は行わないケースである。

b) 素材高度化ケース

通常の鉄鋼よりも張力が約2倍である高張力鋼を導入することにより、財生産のために投入する鉄鋼を抑制するシナリオである。高張力鋼は、すでに輸送機器や機械において使用されており、実用段階にある³⁴⁾。本研究では、2050年には、財の生産に投入される鉄鋼のうち40%が高張力鋼に入れ替わると想定した。ただし、本研究では高張力鋼を用いることによる素材の長寿命化や高張力鋼の生産の際のCO₂排出原単位の変化は考慮していない。

c) 財ストック効率改善ケース

財ストックのサービス産出係数あるいは稼働率を改善し、財一単位あたりのサービス産出量を増加させること

を想定する。効率改善は2013年から行われるものとし、住居では、住宅比率が1以上の地域については、2050年に1になるように誘動する。それ以外の財については、年率0.5%での改善が行われるものと想定した。

d) 混合ケース

(b)の素材高度化ケースと(c)の財ストック効率改善ケースを組み合わせたシナリオである。

3. 結果と考察

(1) サービス需要量

2005年におけるサービス別のサービス需要量の推計結果を表-8に示す。また、2050年の各サービス需要量の対2005年比の値を表-9に示す。

表-8 2005年におけるサービス需要量

	住居 (100万m ²)	その他家計 (100万円)	産業生産 (100USD)	発電 (100kWh)	旅客輸送 (100人・km)	貨物輸送 (10000t・km)	農業用水 (10000m ³)	工業用水 (10000m ³)	生活用水 (100万人)	汚水処理 (100万人)	治水等 (100万円)	公園等 (100万円)
JPN	4640	30.863	4181	918	1564	492	25.6	11.0	126	126	0.837	0.106
CHN	21013	230.394	2180	2632	2319	2870	556.1	128.6	1140	842	8.703	1.105
IND	14899	5.160	740	608	2163	677	573.0	10.0	1001	310	7.546	0.958
IDN	3941	0.274	272	104	774	319	45.0	24.7	181	118	1.505	0.191
KOR	1034	11.288	719	371	269	118	8.7	3.1	44	28	0.311	0.040
THA	872	6.501	159	117	252	190	49.9	1.4	65	64	0.441	0.056
TWN	500	7.532	332	209	57	71	2.1	0.9	21	13	0.150	0.019
VNM	1087	0.632	47	44	122	29	30.0	3.1	74	52	0.550	0.070
MYS	453	4.211	130	75	185	117	3.7	4.8	26	25	0.173	0.022
PHL	1118	0.335	94	41	145	81	14.1	2.9	79	66	0.566	0.072
SGP	94	1.800	107	29	22	24	0.1	1.2	4	4	0.028	0.004
XSA	693	0.003	26	10	691	144	27.2	0.5	49	32	0.072	0.009
XSA	4900	0.067	194	109	171	142	286.9	1.0	281	184	0.821	0.104
XEA	344	3.298	13	29	49	30	15.4	1.3	23	14	0.174	0.022
XME	3997	21.335	942	513	111	47	165.5	1.7	174	166	1.258	0.160
TUR	2538	10.877	327	140	219	88	52.2	4.3	66	60	0.451	0.057
AUS	967	7.444	669	233	363	275	24.1	2.4	20	20	0.135	0.017
NZL	196	0.535	100	37	69	28	5.6	0.2	4	4	0.027	0.003
XOC	115	0.521	18	1	528	299	0.1	0.2	7	7	0.060	0.008
CAN	1964	13.302	1002	563	573	590	8.5	31.6	32	32	0.214	0.027
USA	18056	99.686	11519	3795	8386	4632	223.9	220.6	294	297	1.965	0.249
XE15	15849	140.445	11087	3025	4898	1631	145.8	66.1	386	386	2.560	0.325
XE10	2398	15.694	577	539	672	645	6.3	4.8	74	71	0.146	0.018
XE2	1142	4.921	83	131	139	78	37.3	5.6	28	25	0.011	0.001
RUS	4522	61.062	631	2174	902	1212	45.5	39.6	139	125	0.952	0.121
XCS	959	1.057	72	250	118	16	113.8	6.7	47	50	0.380	0.048
XEWI	560	2.230	628	214	182	73	1.4	1.5	12	12	0.034	0.004
XEEI	1371	20.307	136	434	275	336	23.3	15.8	60	58	0.334	0.042
XENI	698	0.577	64	124	14	4	13.6	4.4	39	36	0.263	0.033
BRA	3345	5.970	750	376	763	654	29.2	10.7	169	142	1.231	0.156
ARG	696	0.956	156	98	159	112	15.5	4.4	37	35	0.256	0.033
MEX	1915	3.757	712	205	474	367	63.0	6.9	101	85	0.705	0.090
XLM	4065	2.061	667	343	690	472	93.0	10.0	203	182	1.496	0.190
ZAF	1788	2.129	215	208	204	208	15.0	0.9	44	28	0.316	0.040
XAF	8950	1.773	640	282	1382	406	119.9	5.5	586	325	5.280	0.671

表-9 2050年のサービス需要量の対2005年比

	住居	その他家計	産業生産	発電	旅客輸送	貨物輸送	農業用水	工業用水	生活用水	汚水処理	治水等	公園等
JPN	0.9	0.9	1.3	1.9	0.9	0.7	0.7	0.8	0.9	0.9	0.86	0.86
CHN	1.8	1.0	13.0	4.5	1.0	21.4	1.2	7.6	1.1	1.3	0.99	0.99
IND	3.6	7.9	13.0	11.4	1.5	6.3	1.1	8.9	1.6	3.7	1.48	1.48
IDN	2.2	13.4	8.9	18.1	1.3	7.3	1.0	6.2	1.5	1.9	1.29	1.29
KOR	1.3	1.0	2.7	1.9	1.0	1.5	0.9	1.6	1.0	1.3	1.00	1.00
THA	2.4	1.2	6.7	6.1	1.1	4.4	1.0	4.2	1.1	1.1	1.07	1.07
TWN	1.2	0.9	2.4	2.0	0.9	2.0	1.0	1.5	0.9	1.2	0.89	0.89
VNM	2.9	5.2	9.9	9.1	1.3	25.7	1.0	11.0	1.3	1.6	1.25	1.25
MYS	2.8	1.7	6.6	7.7	1.7	3.5	1.0	5.3	1.7	1.7	1.66	1.66
PHL	4.2	10.4	5.2	7.2	1.8	4.2	1.4	3.8	1.9	2.1	1.81	1.81
SGP	1.9	1.4	5.4	3.7	1.4	2.4	1.0	5.7	1.4	1.4	1.43	1.43
XSE	11.4	69.5	8.0	17.9	1.3	12.7	3.0	6.8	1.5	2.0	4.58	4.58
XSA	3.7	44.4	6.5	5.9	1.6	5.2	1.6	5.8	1.9	2.5	3.31	3.31
XEA	2.6	1.2	4.3	3.2	1.2	3.8	1.0	3.6	1.3	1.6	1.16	1.16
XME	7.2	2.1	4.6	2.1	1.8	2.3	1.9	2.8	2.0	2.1	1.95	1.95
TUR	1.4	1.3	3.8	2.0	1.3	2.6	2.4	2.6	1.4	1.4	1.34	1.34
AUS	1.5	1.5	2.6	4.8	1.5	2.5	1.1	1.6	1.5	1.5	1.54	1.54
NZL	1.5	1.4	2.2	2.5	1.4	2.3	3.6	1.6	1.4	1.4	1.37	1.37
XOC	5.3	3.0	4.2	5.6	2.0	4.7	2.4	2.0	2.3	2.4	2.02	2.02
CAN	1.4	1.4	2.2	2.3	1.4	1.4	2.0	1.4	1.4	1.4	1.35	1.35
USA	1.4	1.4	2.2	2.2	1.4	1.6	0.9	1.6	1.4	1.4	1.36	1.36
XE15	1.1	1.1	1.5	1.3	1.1	1.1	1.1	1.0	1.1	1.1	1.08	1.08
XE10	0.9	0.9	2.2	1.8	0.9	1.9	1.3	1.5	0.9	1.0	2.05	2.05
XE2	0.8	0.8	1.7	1.3	0.8	1.4	1.1	0.7	0.8	0.9	7.67	7.67
RUS	0.9	0.9	2.5	1.6	0.9	1.8	0.9	1.8	0.9	0.9	0.88	0.88
XCS	2.5	3.8	6.2	8.8	1.4	5.7	1.0	4.0	1.6	1.5	1.43	1.43
XEWI	1.2	1.2	1.7	1.5	1.2	1.2	0.7	1.1	1.2	1.2	1.98	1.98
XEEI	1.0	0.8	2.3	1.5	0.8	3.6	0.5	1.1	0.8	0.8	0.87	0.87
XENI	1.6	2.9	2.7	0.9	1.5	1.9	0.6	2.0	1.0	1.0	0.96	0.96
BRA	2.3	2.4	3.5	3.1	1.2	2.3	1.0	2.1	1.3	1.4	1.20	1.20
ARG	2.2	3.0	4.4	2.4	1.3	2.6	1.0	2.9	1.3	1.4	1.31	1.31
MEX	2.2	2.6	3.4	1.7	1.4	1.7	1.0	1.9	1.4	1.5	1.35	1.35
XLM	2.8	5.6	3.7	3.0	1.4	2.5	1.0	2.8	1.6	1.7	1.48	1.48
ZAF	3.7	2.0	2.6	4.4	1.2	2.1	1.0	1.7	1.2	1.6	1.19	1.19
XAF	21.7	19.6	8.6	9.5	2.4	6.6	1.3	5.3	3.1	4.7	2.57	2.57

表-8について考察する。いずれのサービスにおいても日本(JPN)やアメリカ(USA)、カナダ(CAN)、ロシア(RUS)、初期EU所属国(XE15)、中国(CHN)などにおけるサービス需要量が多い。

住居サービスは、世帯数の多い中国が多いが、次いでアメリカやEU15ヶ国などが多く、これはアメリカの一戸あたり住居床面積が156.7m²、EU15ヶ国が100.9m²と大きいことが原因である。産業生産サービスと発電サービスは、アメリカとEU15ヶ国が非常に大きく、この2つの地域で産業生産と発電それぞれで全世界の56.4%、36.0%を占める。旅客輸送、貨物輸送サービスではアメリカとEU15ヶ国に加えて人口の多い中国もそのサービス需要量が大きくなっている。また、工業用水サービスはアメリカと中国が非常に大きく、この2ヶ国だけで世界全体の54.7%を占める。さらに農業用水サービスと生活用水サービスでは、中国とインド(IND)が非常に多く、農業用水サービスはこの2つの国で39.8%、生活用水サービスは同38.0%を占める。また、汚水処理サービスでは、生活用水サービスと同様に中国が非常に大きくなっている一方で、インドは人口の割にサービス需要量が小さくなっている。これはインドにおいて汚水処理設備の普及率が2005年時点で27.2%と低いためである。

次に2050年までの変化を示す表-9について考察する。住居サービスが大きく伸びているのは東南アジア(XSE)やアフリカ(ZAF、XAF)といった発展途上国の国々であり、最も伸びの大きいその他アフリカでは2050年には21.7倍に達する。産業生産サービスは中国とインドの伸びが最も大きくともに13.0倍となる。発電はインドやインドネシア(IDN)などのアジアの発展途上国やアフリカにおいて大きく増加しており、最も伸びが大きいのはインドネシアの18.1倍である。旅客輸送サービスについてはサービス需要量が急激に増加する地域はなく、最も伸びの大きいその他アフリカで2.4倍である。一方、貨物輸送サービスは産業生産の伸びが大きい中国、インド、およびその他のアジアの発展途上国が大きく伸びており、最も大きいのがベトナム(VNM)で25.7倍である。農業用水サービスの伸びは小さく、中でも最も伸びているのはニュージーランド(NZL)で3.6倍となっている。一方、工業用水は、産業生産と貨物輸送を大きく伸ばしているベトナムがそれに関連して大きく伸びており、11.0倍となっている。生活用水、汚水処理については今後の人口増加が見込まれるアフリカが特にサービス需要量を伸ばしているが、汚水処理サービスではインドも今後の汚水処理サービス供給率の増加により大きく増加する。

(2) 鉄鋼ストック量

固定ケースについての鉄鋼ストック量の推計結果を財別、地域別にそれぞれ図-3および図-4に示す。

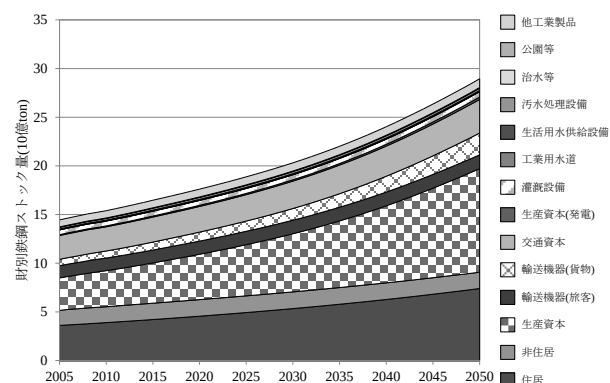


図-3 財別鉄鋼ストック量

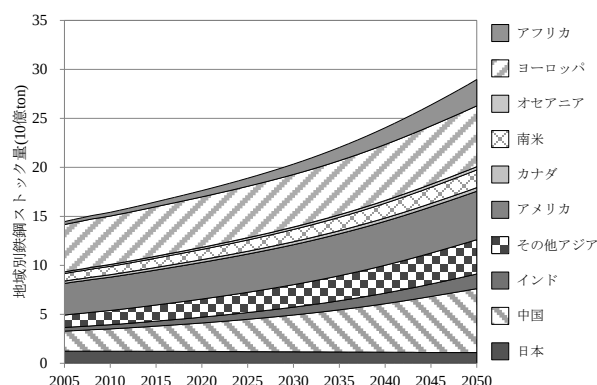


図-4 地域別鉄鋼ストック量

世界全体の鉄鋼ストック量は2005年において147億tonであるが、固定ケースでは2050年には292億tonと2.0倍にまで増加する。財別の鉄鋼ストック量は、世界全体で見ると、2005年以降、生産資本のシェアが伸びており、2050年には鉄鋼ストック量の36.4%を占める。これは、今後GDPが世界全体で大きく増加していくと見込まれているため、そのサービス需要量を満たすための生産資本の需要が増加するためである。また、2005年において最もシェアの大きかった住居の鉄鋼ストック量は、人口の増加により2050年まで伸び続けているものの生産資本ほどの伸びはみせず、そのシェアは2050年で25.3%と生産資本に次いで2番目となる。

また、地域別に見ると、2005年で最もシェアが大きいのは中国で14.5%を占めるが、2050年にはさらにそのシェアが22.6%にまで大きくなる。また、鉄鋼ストック量の伸びが最も著しいのはアフリカであり、2005年の3.1億tonから2050年には26.9億tonにまで増加する。これは、人口の急激な増加による住居需要の増加による影響が大きい。

(3) 鉄鋼需要量

固定ケースについて鉄鋼需要量の推計結果を財別、地域別にそれぞれ図-5および図-6に示す。

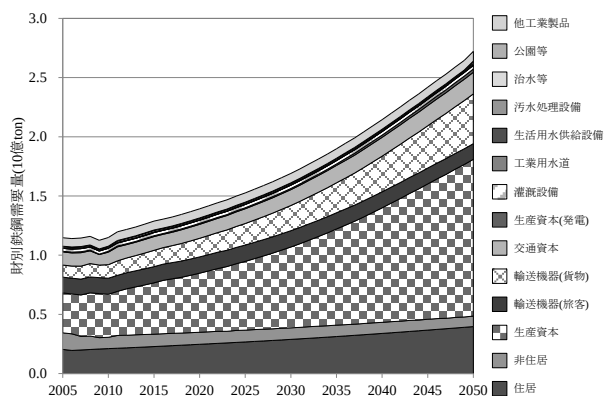


図-5 財別鉄鋼需要量

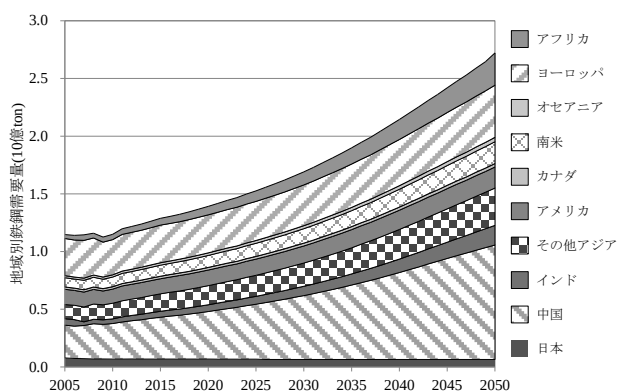


図-6 地域別鉄鋼需要量

財ストックへと投入される世界全体の鉄鋼需要量は2005年の11.6億tonから、2050年の27.3億tonへ2.4倍に増加する。財別の鉄鋼需要量では、ストック量が大きく増加する生産資本による需要が大きく、世界全体のシェアで見ると2005年の29%から48.5%にまでシェアを伸ばす。これはGDPの増加に起因するものである。鉄鋼を生産資本として使用する部門のGDPが、その他の財の駆動力である人口や発電電力量と比較して、相対的に大きくなったためである。その他の財については比較的緩やかな増加となる。

鉄鋼需要量を地域別に見ると、中国は2005年の2.9億tonから10.0億tonにまで増加すると見込まれ、2050年における中国の鉄鋼需要量のシェアは36.5%となる。また、鉄鋼ストック量を大きく増加させるアフリカの鉄鋼需要量は2005年の3,400万tonから2050年には2.8億tonにまで増加する。先進国については、ほぼ横ばいであり、大きな変化はない。

(4) 鉄鋼需要量抑制策の効果分析

世界全体の鉄鋼ストック量および鉄鋼需要の抑制策について、前章で設定したケースごとの推計結果を図-7および図-8に示す。

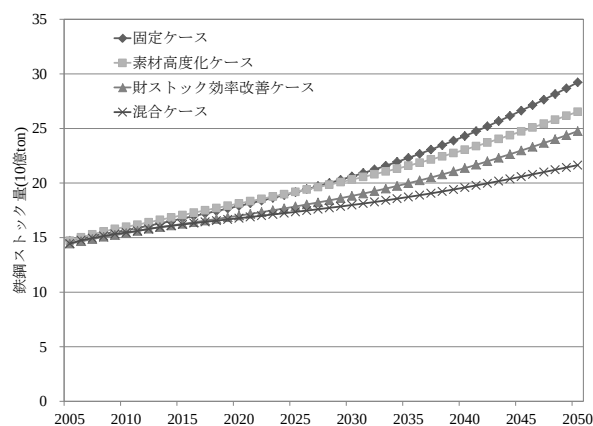


図-7 ケース別鉄鋼ストック量

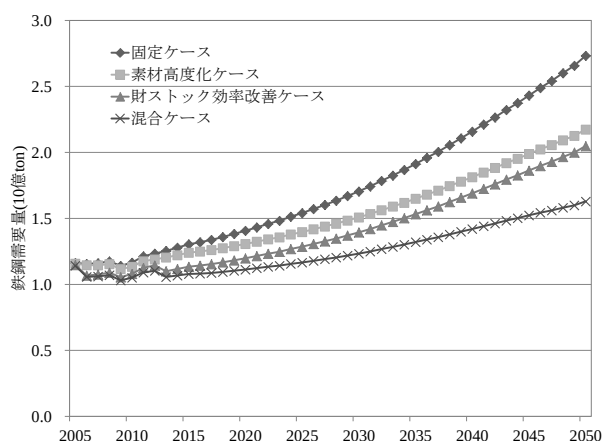


図-8 ケース別鉄鋼需要量

鉄鋼ストック量は、2050年において、素材高度化ケース、財ストック効率改善ケース、混合ケースでそれぞれ265億ton、248億ton、216億tonとなり、固定ケースと比較すると0.91倍、0.85倍、0.74倍となる。素材高度化ケースと財ストック効率改善ケースとでは、財ストック効率改善ケースの方が2050年の鉄鋼ストック量は少なく、鉄鋼ストック量削減の観点からは、財ストック効率改善ケースの方が効果としては大きいといえる。

混合ケースでは一人あたり2.3tonとなり、これは各地域の2005年のサービスレベル指標が2050年まで一定であるとした場合に、2050年の世界のサービス需要を満たすために必要な一人あたり鉄鋼ストック量を意味する。ただし、途上国において、サービス供給率とともに、サービスの質の向上を想定した場合、サービス需要を満たすために必要とされる鉄鋼ストック量はさらに増加する可能性がある。

一方、鉄鋼需要量は2050年において、素材高度化ケース、財ストック効率改善ケース、混合ケースでそれぞれ21.7億ton、20.5億ton、16.3億tonとなり、固定ケースと比較すると0.80倍、0.75倍、0.60倍となる。素材高度化や財ストック効率改善といった対策を行うことにより、サービス需要量は増加しても、鉄鋼需要量を最大で40%削減

可能なことが示された。

4. まとめ

本研究では、鉄鋼を含む財が供給するサービスに対し、世界 35 地域別にサービス需要量を推計し、そのサービス需要を満たすための鉄鋼ストック量と鉄鋼需要量を、4つのシナリオについて推計した。以下に本研究のまとめを示す。

- サービス需要量は、中国やインドを中心とするアジアの発展途上国やアフリカ諸国において、サービスによっては5-10倍以上の大きな増加が見込まれる。
- このサービス需要量の増加を満たすため、いくつかの抑制策を組み合わせ4つのケースを想定した。これらのケースにおける鉄鋼ストック量および鉄鋼需要量は、以下の表-10に示すとおりである。

表-10 ケースごとの鉄鋼ストック量、鉄鋼需要量の変化

	2050年 鉄鋼ストック量 (100万ton)	2050年 鉄鋼ストック量 対2005年比	2050年 鉄鋼需要量 (100万ton)	2050年 鉄鋼需要量 対2005年比
固定	29226	2.0	2733	2.4
素材高度化	26534	1.8	2174	1.9
財ストック効率改善	24750	1.7	2048	1.8
混合	21642	1.5	1629	1.4

- 各地域で、2005年におけるサービスレベル指標が2050年まで一定であるとする、2050年におけるサービス需要量を満たすのに必要となる鉄鋼ストック量は、素材の高度化や、財ストックの効率改善などの対策を行うことにより、一人あたり2.3tonとなる。
- 素材の高度化や財ストックの効率改善のいずれかの対策のみでは、鉄鋼需要量の削減効果は、20-25%にとどまるが、これらを組み合わせることにより、40%の削減効果が見込まれる。

本研究の結果から、今後の技術進歩や効率改善により、サービスの質を維持しながら、鉄鋼需要量を削減できることが示され、将来にむけた物質化社会からの脱却の可能性が示された。

2011年における鉄鋼生産量の報告値は15.1億tonであるが、本研究の推計結果では12.0億tonとなっている。これは、①本研究の推計開始年が2005年であり、②マクロ社会経済指標とサービススケール指標の関係を示す係数（asd）、サービスのレベルを表す指標（UL）、サービス産出係数（aus）のパラメータを2005年の値で一定値、もしくは、2005年以上には悪化しないと想定したためである。今後の課題としては、これらの係数について、詳細に検討することが挙げられる。

謝辞：本研究は、環境研究総合推進費 A-1103「統合評価モデルを用いた世界の温暖化対策を考慮したわが国の温暖化政策の効果と影響」による研究成果の一部であり、また三井物産環境基金の支援を受けている。ここに記して感謝の意を表す。

付録：産業22部門を次に示す。

産業部門		
第一次産業	農業	林業
第二次産業	石炭採掘	原油採掘
	天然ガス採掘	非燃料鉱物
	食料品	繊維製品
	製材	紙・パルプ
	化学製品	石油精製品
	非金属製品	鉄鋼製品
	非鉄金属製品	機械
	輸送機器	その他製造業
第三次産業	ガス製造・供給	建設
	交通・通信	その他サービス

参考文献

- IEA: Energy technology transitions for industry, 2009.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) : the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007.
- IEA:Energy Technology Perspective 2012, 2012.
- H.Hatayama, I.Daigo, Y.Matsuno, Y.Adachi: Outlook of the World Steel Cycle Based on the Stock and Flow Dynamics, 2010.
- 金森有子, 松岡 謙: エネルギーサービスの需給バランスを考慮した家庭部門のエネルギー消費構造について, 地球環境研究論文集, 18, 131-142, 2010.
- BRITANNICA: Book of the year, 2000.
- UNECE: Bulletin of Housing and Building Statistics for Europe and North America, 2004.
- UN: World Population Prospects The 2010 Revision, 2010.
- 国立環境研究所：平成 23 年度環境研究総合推進費（統合評価モデルを用いた世界の温暖化対策を考慮したわが国の温暖化政策の効果と影響）による研究委託業務，委託業務報告書，平成 24 年 3 月。
- Kurata G.: Transportation and Air pollution, *The 17th AIM International Work*, 2012.
- 藤森真一郎, 増井利彦, 松岡謙: 世界の温室効果ガス排出量の半減シナリオ及びその含意, 土木学会論文集 G(環境), 67(6), II -243-II -254, 2011.
- Euromonitor: GMID, 2011.
- 経済産業省: 平成 17 年工業統計調査(用地・用水編), 2005.
- 総務省 HP: 日本の長期統計系列, 2011.
- 国土交通省: 建設資材・労働力需要実態調査, 2006.
- 財団法人省エネルギーセンター: エネルギー・経済統計要覧, 2009.

- 17) U.S Department of Energy : 2005 Building Energy Data Book, 2005.
- 18) ODYSSEE : ODYSSEE, 2008.
- 19) UN: UNconstruction, 1977.
- 20) 中国国家统计局: 中国統計年鑑, 2007.
- 21) World Bank: World Development Indicator, 2011.
- 22) 総務省 HP: 世界の統計, 2011.
- 23) 日本航空協会: 航空統計要覧, 2009.
- 24) World Bank: World Bank's Railway Database, 2001.
- 25) Mitchell: International Historical Statistics, 2003.
- 26) IRF: World Road Statistics 2009, 2009.
- 27) 自転車産業振興協会: 自転車統計要覧, 2010.
- 28) WHO/UNICEF : WHO / UNICEF Joint Monitoring Programme
(JMP) for Water Supply and Sanitation, 2011. (2012. 4. 20 受付)
- 29) IISI: Steel Statistical Yearbook, 2006. (2012. 7. 28 受理)
- 30) 増田宗人: 資本ストック統計の見方-市場評価資本ストック
の試算-, 2000.
- 31) 河瀬玲奈, 東 章吾, 松岡 謙: 日本における低炭素社会と脱
物質化社会構築の可能性について—鉄鋼を例として—,
土木学会論文集 G(環境), 2012. (投稿中)
- 32) 国土交通省: 住生活基本計画(全国計画), 2011.
- 33) UN: THE MILLENNIUM DEVELOPMENT GOALS REPORT
2010, 2010
- 34) エネルギー総合工学研究所: 超長期エネルギー技術ロード
マップ報告書 ロードマップ解説 2006.

A STUDY ON WORLD STEEL DEMANDS CONSIDERING SERVICE DEMAND CHANGE

Shogo HIGASHI , Reina KAWASE and Yuzuru MATSUOKA

This study focused on steel as an example of energy-intensive materials, and developed a model to estimate 1) service demands supplied from goods stocks, 2) the amount of steel stock included in the goods stocks, and 3) steel demands. This model was applied to time period for 2005-2050 with the assumption of four future scenarios including FIX scenario, in which parameters were fixed at a level of 2005.

Reduction effects of steel stocks and steel demands were analyzed by the model. As the results, the steel demands of MIX scenario, which introduced high performance materials and the efficiency improvement of goods stocks, was the lowest among the scenarios and it showed 40% reduction compared with FIX scenario. The possibility for shifting towards dematerialized society was indicated, with keeping the service demands at the level of 2005.