

STEEL CONSTRUCTION TODAY & TOMORROW

(第 46 期, 2015 年 12 月)
日本鋼鐵聯盟與日本鋼結構協會會刊

中文版

英文版期刊《Steel Construction Today & Tomorrow》每年出版 3 期，以相關的企業高管、各工業行業的公司以及管理機構為對象，面向全球發行。本刊的主要目的是介紹有關鋼結構的標準和規範、建築施工和土木工程領域的先進建設項目實例以及最新施工技術和材料等。

為了更便于中國的讀者理解這些內容，我們對本刊的文字部分編輯了中文版，與英文版一並提供。有關文中的照片和圖表，我們僅用中文提供其標題，因此，關於其內容請參照英文版。另外，也請參照英文版確認技術性說明和具體的技術內容。

關於照片和圖表，其英文版附在各段文章的最後一頁。

第 46 期 (2015 年 12 月) : 目錄

特集: LCA與鋼鐵循環利用	
關於建築領域鋼結構LCA的討論 -----	1
日本的LCA模型的事例及課題 -----	2
考慮鋼材產品回收利用效果的環境評估方法 -----	5
鋼鐵庫存與鋼材的回收率 -----	9
構建環保型社會的建築用鋼材 -----	13
日本鋼結構建設技術的介紹 -----	16
日本鋼鐵聯盟開展的活動 -----	封底

注: 頁數為英文版第 46 期的頁數
中文版: ©一般社團法人日本鋼鐵聯盟 2015

郵政編碼 103-0025
東京都中央區日本橋茅場町 3-2-10
一般社團法人 日本鋼鐵聯盟
傳真: 81-3-3667-0245
電話: 81-3-3669-4815
電郵地址: sunpou@jisf.or.jp
URL <http://www.jisf.or.jp>

(1 頁)

關於建築領域鋼結構 LCA 的討論

日本鋼鐵聯盟建設環境研究會

關於對日本國內公共事業的招標制度以及綠色採購法采用 LCA 方法，日本鋼鐵聯盟建設環境研究會正在開展討論，通過與高爐法、電爐法的回收利用協作以及通過高性能鋼材降低環境負荷等，為了確立鋼材的優異環保性能的相關評估方法而著手推進，並且開展促進環保型建築用鋼材的普及活動。同時，為了理解鋼結構的傑出環保性能，我們以從事建築行業工作的各種人員為對象，每年在東京舉辦“綠色鋼材研討會”。

作為這些活動的一個部分，2010 年，我們在日本鋼結構協會內成立了由學識淵博人士、鋼材廠商以及用戶構成的“建築領域的鋼結構 LCA 討論分會”，針對建設領域的 LCA 方法開展信息收集和研究，同時對鋼材的 LCA 應有狀態開展討論。去年，我們對研究成果進行了總結。

關於分會的這些活動成果，我們在建設環境研究會于 2014 年 11 月 27 日舉辦的第 4 屆綠色鋼材研討會（GSS）上，發表了以“有關社會資本的整建和生命周期的最新工作推進～鋼材在建築領域的回收利用優勢～”為主題的報告（表、照片）。

本期概要介紹在 GSS 會議上發表的討論分會的部分活動成果，並介紹日本鋼鐵行業對保護地球環境做出的貢獻。

表：主題、講師名錄

照片：第 4 屆綠色鋼材研討會

A List of Lecture Themes and Lecturers at 4th Green Steel Seminar

Keynote lecture: Recent Trends and Future Directions Involved in LCA	Matsunori Nara, Dr. Eng. Professor, Department of Computer and Media Engineering, Tokyo University of Science, Suwa
Methods to Treat Structural Steel Members Left Behind	Dr. Yoshikazu Shinohara Group Leader, Eco-energy Group, National Institute for Materials Science
Introduction of LCA Approaches to Take Account of Recycling Effects of Steel Products and Simulation Examples	Tomohisa Hirakawa Vice Chairman, Committee on Environment-friendly Steel for Construction, The Japan Iron and Steel Federation
Assessment Approaches for Environmental Influence Caused by Use of Steel Products	Dr. Minoru Fujii Senior Researcher, Eco-city Systems Research Program Project Leader, Environmental Urban Systems Section, Center for Social and Environmental Systems Research, National Institute for Environmental Studies



Fourth Green Steel Seminar held in November 2014

(2~4 頁)

日本的 LCA 模型的事例及課題

諏訪東京理科大学工學部 教授

奈良 松範

LCA 的概要

關於生命周期評估 (LCA)，國際標準化組織 (ISO) 從 1993 年開始著手開展規格化作業，1997 年公布了 ISO 14040: LCA 的原則與框架、ISO 14041: 盤查分析、ISO 14049: 盤查分析事例。1995 年設立了產官學聯合的 LCA 日本論壇推進研究。2007 年，鋼結構協會也開始進行有關鋼材、鋼結構的 LCA 研究。此外，在 2009 年制定綠色採購法時，國土交通省也開始討論公共事業的 LCA。目前，雖然開展許多 LCA 的理論研究和事例研究，但是獲取盤查數據耗費了大量勞力。由於建築業的多數企業協作進行單品訂貨生產形成了多重結構，因此造成盤查數據的收集困難。然而近年來，國土交通省國土技術政策綜合研究所與土木學會開展合作研究，也正在向著解決這個課題的方向努力，在公共事業方面也使得盤查分析 (LCI) 成為可能。這是並用產業相關的報表和累積數據的混合型盤查數據，能夠以二氧化碳排放量及金額等為評估參數對材料、工藝以及建築物實施 LCA。

LCA 的課題

關於日本建築領域 LCA 的運用，在新的嘗試方面也存在課題，包括適用範圍限定在材料制造、建築階段的生命期，將二氧化碳排放量作為主體而有關其他環境負荷的評估 (與交易、綜合性指標等的關聯) 不充分，鋼材等多次回收利用的效果沒有定量化等。

將使用過的鋼材 (鋼鐵材料) 作為廢鋼回收多次使用，對此人們往往認為理所當然，但實際上與其他材料相比，這種反復的回收利用對於降低環境負荷是突出的特性。換而言之，與許多材料的降級循環利用相比，鋼鐵等金屬材料可實現同級循環利

用。

在循環利用的回收工藝方面，使用磁鐵可容易地完成鋼材分離也是優點。如果金屬與其他金屬或其他材料形成一體 (結合) 使用，難以將這些材料分離的示例較多，無法開展回收利用。在建築領域，鋼材 (鋼鐵材料) 作為鋼骨結構單獨使用，即使採用 RC 結構也可將鋼材與混凝土分離，便于在使用後進行分離和回收，因此鋼鐵與其他金屬材料相比，屬於易回收利用的狀況。

然而，對於這樣的回收利用性能高、可多次反復使用的鋼材，目前還沒有對其環保特性予以妥善評估的方法。生態環保標志等環保標籤以及綠色採購法的目的是，通過妥善評估材料或產品的環境負荷，支援其購買，促進構建低環境負荷的社會。但是作為當前的環境影響評估方法，無法評估多次回收利用的效果。目前的狀況無法區別僅可回收利用 1 次、與可多次回收利用材料的環保性能的差異。作為一般民衆是否也應該會考慮，回收利用次數越高越節省資源、或者環境負荷越低。鑒於上述觀點，今後希望制定考慮到回收利用的方便性以及回收利用次數的環境影響評估方法。

另一方面，為了強調鋼材的環保性能，也需要積累有關鋼材回收利用優點的數據，通過努力獲得人們的廣泛認可。日本的鋼鐵制造工藝即使在全球也屬於頂級的低環境負荷型工藝。但是在鋼鐵制造方面付出的降低環境負荷的努力並未結束，仍存在今後進一步改善的余地或可能性。降低資源、能源的用量，廢水、廢氣的高度淨化以及減少廢棄物等是零排放型鋼鐵廠商的追求目標。但是，消費枯竭型資源、能源未必增加環境負荷、或者不會直接導致可持續性的降低，妥善利用枯竭型資源有時也能夠降低作為地球總體的環境負荷。

LCA 事例

關於 LCA 的事例分析，我們以 122 號國道跨越利根川部分的公路橋、即昭和橋舊橋為對象，根據在《全部社會資本生命周期的環境評估技術的開發》

(國土交通省 國土技術政策綜合研究所)中提出的方法(以下簡稱“綜合項目方法”)進行了 LCA 計算。這項工作的目的是,將綜合項目方法適用於實際事例進行實際結構體的 LCA 試算,同時對鋼橋在各生命期的二氧化碳排放量進行比較。

我們對符合實際的橋梁結構體履曆的生命周期以及按照目前的技術水平反映社會環境的設想生命周期兩種案例進行二氧化碳排放量的試算。計算案例 1 是在昭和橋舊橋的實際使用期間(44 年期間)的二氧化碳排放量,案例 2 是將昭和橋舊橋作為樣板案例假設今後建造同樣的橋梁,將討論的對象期間設為 200 年(建造的 100 年後重建)時的二氧化碳排放量。案例 1 的生命周期二氧化碳排放量如圖 1 所示,案例 2 的生命周期二氧化碳排放量如圖 2 所示。

圖 1 44 年期間生命周期的二氧化碳排放量(案例 1)

圖 2 200 年期間生命周期的二氧化碳排放量(案例 2)

對鋼橋在各生命期的二氧化碳排放量進行比較的結果表明,這兩個案例同樣,設計、建造階段與解體、回收階段合計的二氧化碳排放量超過全部生命周期二氧化碳排放量的 90%,計劃時的材料及工藝選擇的決策對 LCA 的結果產生重要影響。同樣,這兩個案例在維持和管理階段的二氧化碳排放量都很少,但解體、回收階段的二氧化碳排放量竟達到設計、建造階段數值的 25%,顯然產生了較大的環境影響。

爲了在整個結構體的生命周期減少二氧化碳排放量,不僅需要減少因制造建造時使用的材料產生的環境負荷,還需要考慮結構體在解體時的回收方便性以及回收後的循環使用性。

今後的展開

今後,我們考慮以可持續性爲切入口評估材料的環境性能。對於可持續性,必須考慮枯竭型資源

和稀少材料的使用狀況、以及數代未來的狀況,通過長期規劃和未來環境預測進行評估。這也是預測鋼鐵的未來。另外,對產品進行經濟性評估也不可或缺。在市場上,不僅要求具備良好的環境性能,也要求具備降低內部及外部不經濟的經濟性優點。關於經濟性,通過以削減被稱爲廢品的廢棄物等的內部不經濟爲目的的物料流量成本分析(MFCA),可對環境經濟性能進行評估。

如上所述,我們希望在戰略性環境評估方面的作業程序透明,評估結果具備科學性,便于任何人理解,並且充分反映民衆的意見。從易于理解環境影響的角度考慮,LCA 是有效的方法,量化的性能可獲得民衆理解。此外,由于貫穿整個生命周期的 MFCA 將環境性能置入經濟系統,所以是有效的手段。因此,今後鋼鐵可能應該用“LCA 經濟學”的說法來表述,討論可多次回收利用材料的優點以及這些材料對降低成本的貢獻。爲此,通過確立 LCA 方法妥善評估鋼鐵的環保性能,同時通過 ISO 及 JIS 等實現規格化,在獲得社會共識的同時,持續研究其運用方法至關重要。(表 3)

圖 3 環境、成本以及社會的三足鼎立

Fig. 1 CO₂ Emissions in 44-year Life Cycle at Old Showa Bridge (Case 1)

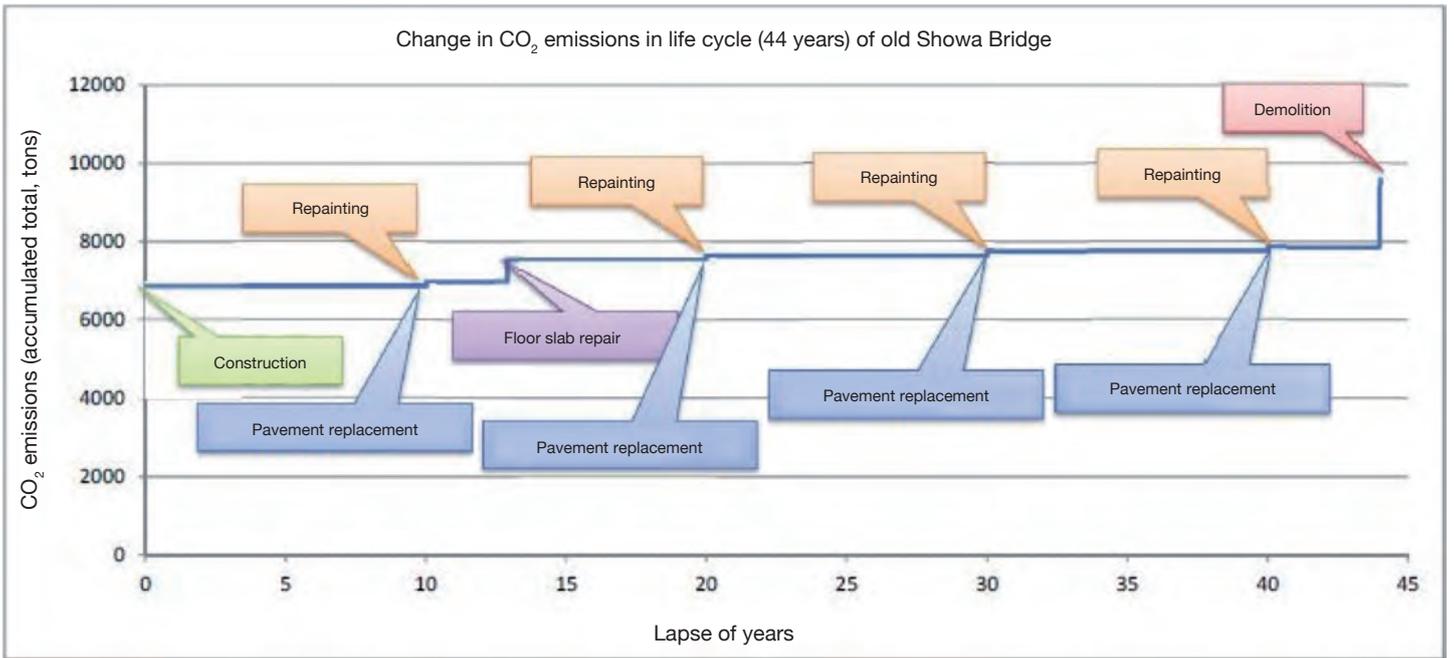


Fig. 2 CO₂ Emissions in 200-year Life Cycle at Model Bridge (Case 2)

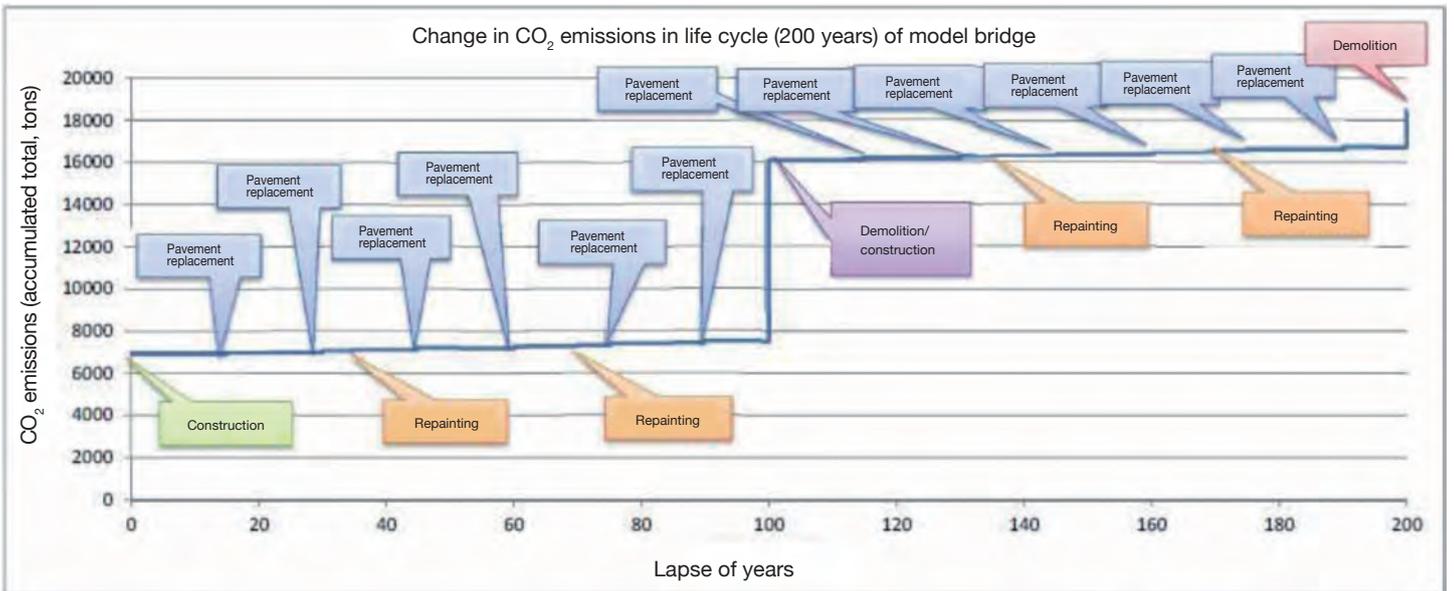


Fig. 3 Ratio and Tonnage of CO₂ Emissions in 44-year Life Cycle by Life Stage at Old Showa Bridge (Case 1)

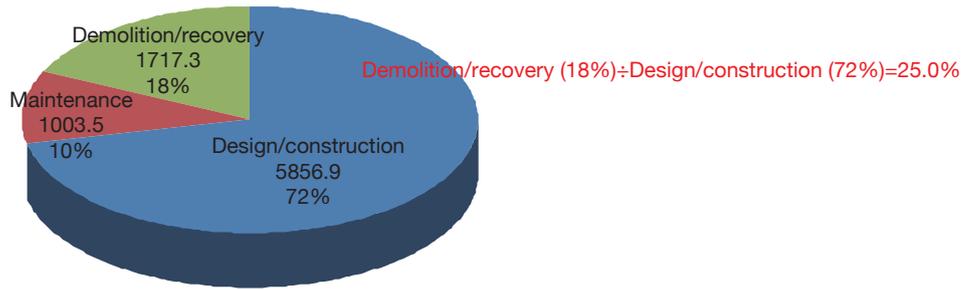


Fig. 4 Ratio and Tonnage of CO₂ Emissions in 200-year Life Cycle by Life Stage at Model Bridge (Case 2)

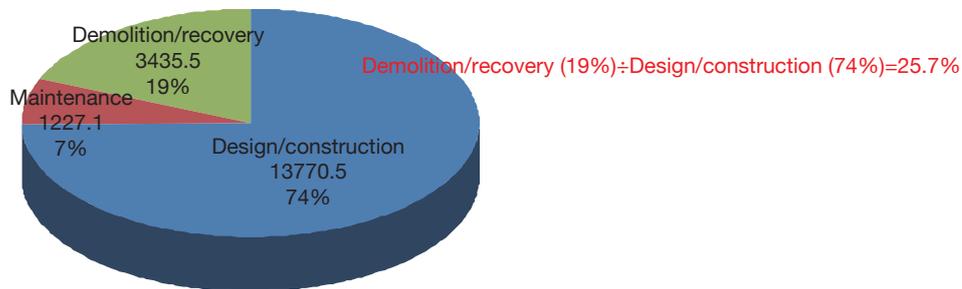
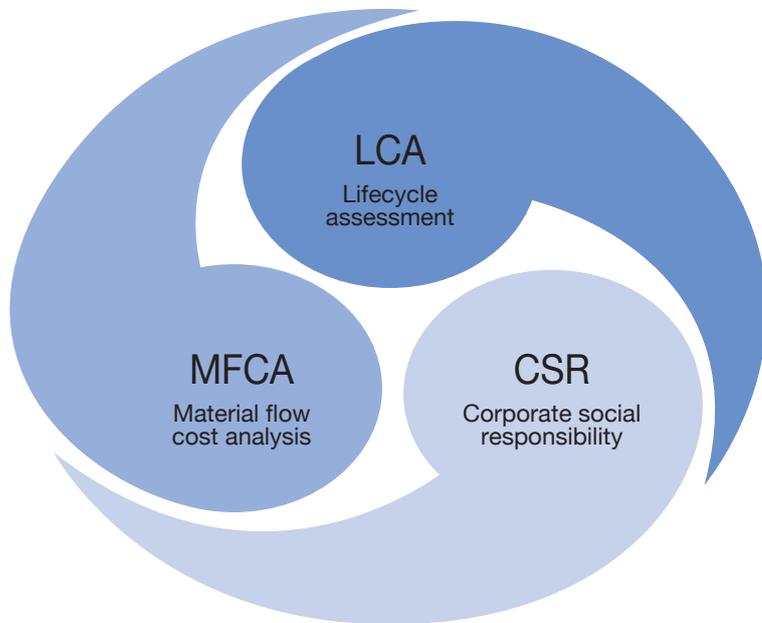


Fig. 5 Striking a Balance between Environment, Cost and Society



(5~8 頁)

考慮鋼材產品回收利用效果的環境評估方法

日本鋼鐵聯盟建設環境研究會 副委員長

平川 智久

關於鋼材產品的回收利用

以下介紹的鋼材產品二氧化碳單位排放量的計算方法（以下簡稱“LCI 計算方法”）以國際鋼鐵協會（worldsteel）提出的 LCI 計算方法[worldsteel（2011）]為基礎。這種方法將開環循環利用和閉環循環利用（同級循環利用）予以明確區分。

開環循環利用將材料回收後用于新的其他產品的系統、以及改變固有物性的系統（降級循環利用或熱能回收）；閉環循環利用不改變物性，適用於可循環利用于相同用途的產品。

在建材領域，以鋼骨及鋼筋等為代表的鋼材產品如表 1 所示，在回收利用中不改變基本物性制成新的鋼材，可重新用于相同用途的產品。也就是說，鋼材產品可實現同級循環利用。

表 1 不同材料回收利用的區別

作為以鋼材產品為代表的可同級循環利用的材料，即使反復進行回收利用，材料本身的價值也不會降低，基本上沒有廢棄和浪費，在社會中循環。鋼材產品在日本國內的循環狀況如圖 1 所示。

圖 1 日本的鋼鐵循環圖

考慮回收利用效果的評估構想

雖然考慮回收利用的 LCI 計算有多種方法，但國際鋼鐵協會建議考慮生命終結的方法。這種方法以鋼材產品可同級循環利用為前提，將某產品制造所產生的溫室效應氣體排放量向下一代產品重新分配，使鋼材產品制造中的環境負荷均等。也就是不區分還原鐵礦石生產的鋼材產品（高爐產品）和主

要溶解廢鋼生產鋼材產品（電爐產品）的總體性方法。其概念如圖 2 所示。

關於鋼材產品制造的高爐法與電爐法的關係

在鋼鐵生產中，高爐法表示通常在高爐將鐵礦石熔化成鐵（鐵水）、然後送入轉爐煉鋼的高爐/轉爐工藝；電爐法表示通常使用電爐重新溶解廢鋼，將廢鋼轉換成新鋼的電爐工藝。然而如圖 3 所示，高爐法並不僅限于高爐產品，電爐法也並不僅限于電爐產品。例如，在高爐產品的制造中，一般將 10~20%左右的廢鋼作為鐵源使用；在電爐產品的制造中，有時將還原鐵等作為原料使用。對於鋼材產品，可認為按照一定比例合理地采用高爐法和電爐法兩種工藝生產。

圖 2 生命終結法的概念

圖 3 高爐法與電爐法的關係

考慮回收利用效果的 LCI_{EOL} 計算方法

◆廢鋼的 LCI

以下讓我們對於廢鋼的 LCI(廢料 LCI)考慮“采用電爐法從 1kg 的廢鋼制造 Y kg 鋼材代替采用高爐法制造 Y kg 鋼材的 LCI”。Y 是采用高爐法制造鋼材時的生產效率（成品率）。如果以 X_{re} 表示電爐法的鋼材 LCI(以 100%廢鋼為前提的理論值)、以 X_{pr} 表示高爐法的鋼材 LCI(以 0%廢鋼為前提的理論值)，則廢鋼 LCI 可按以下定義。

$$\text{廢鋼 LCI} = X_{pr} \cdot Y - X_{re} \cdot Y = (X_{pr} - X_{re}) \cdot Y \text{---} \textcircled{1}$$

◆LCI_{EOL} 的計算公式

對於鋼材產品的 LCI_{EOL}，可考慮從不計回收利用效果的鋼材產品的 LCI(X) 中，扣除對應廢鋼回收利用率(RR)的廢鋼 LCI，並且加上(重新分配)對應制造時的廢鋼使用率(S)的廢鋼 LCI 的合計。此進行整理如下式所示。各要素的定義見表 2。

$$\text{LCI}_{EOL} = X - \text{RR} \cdot \text{廢鋼 LCI} + \text{S} \cdot \text{廢鋼 LCI} \text{---} \textcircled{2}$$

根據①，廢鋼 LCI = (Xpr - Xre) · Y，因此

$$LCI_{Eol} = X - (RR - S) \cdot (Xpr - Xre) \cdot Y \text{---}③$$

表 2 LCI_{Eol} 公式的各要素定義

◆LCI_{Eol} 的計算例

在這裏以普通鋼鋼板為例，對於上述公式的各要素帶入表 3 所示的設定值試算 LCI_{Eol}。結果表明，LCI_{Eol} 為 0.76 (kg-CO₂/kg)，與不計回收利用效果的 LCI (X) 相比，作為高爐為 0.76/1.97→減少 62%，作為電爐 0.76/0.66→增加 15%。對此，將來自鐵礦石最初制造的鋼材產品產生的溫室效應氣體排放量向下一代產品稀釋重新分配，可考慮不區分高爐鋼材和電爐鋼材實現環境負荷的均等。

表 3 LCI_{Eol} 的試算例

結語

目前在土木工程和建築領域，如圖 4 所示，對於鋼材產品的環境負荷，主要采用對從原料採購到制造、發貨的過程分割作為系統分界計算 LCI 的方法。這是僅對鋼材產品生命周期的一個斷面進行評估的方法，本來應選擇考慮回收利用效果（回收利用終結）的 LCI 計算方法。

目前，日本鋼鐵聯盟與國際鋼鐵協會協作，針對以上介紹的考慮回收利用效果的 LCI 計算方法正在推進實現國際標準化。此外，根據該方法，以從參與企業收集的制造數據為基礎，采用該方法計算各品種的具體 LCI 數值，計劃在 2016 年 3 月前後公布。

通過本文的內容，如果大家對鋼材產品出色的回收利用性能以及運用該特性的 LCI 計算方法予以理解，我們將感到非常榮幸。

圖 4 計算鋼材產品 LCI 時的系統分界

Fig. 2 Concept of End-of-Life Approach (worldsteel 2011)

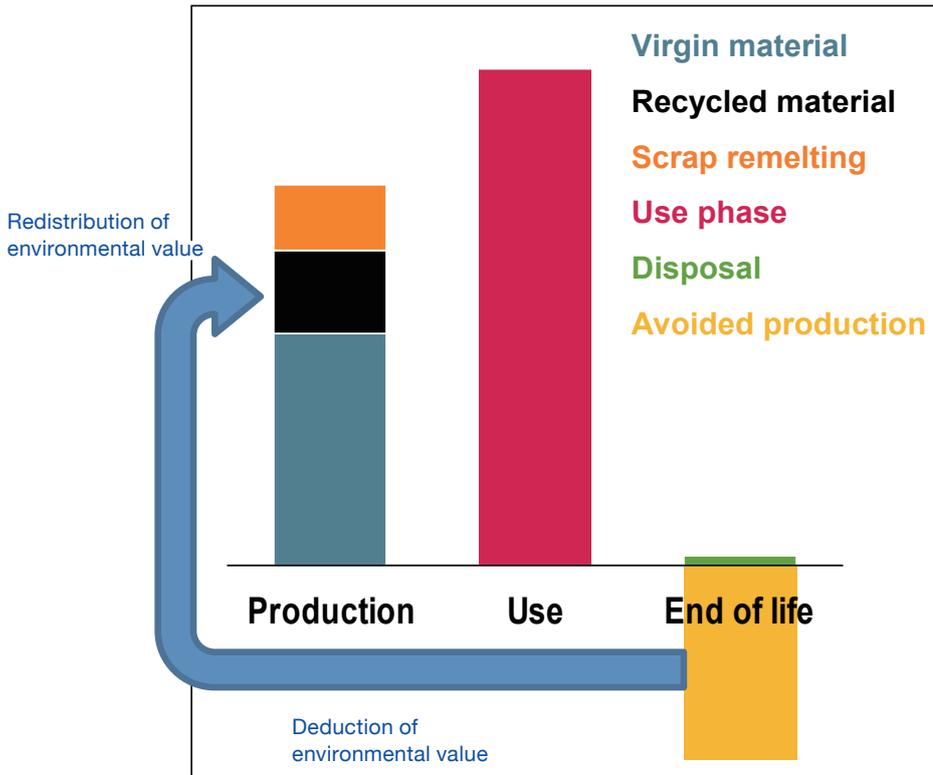


Fig. 3 Relation between Blast Furnace Method and Electric Arc Furnace Method

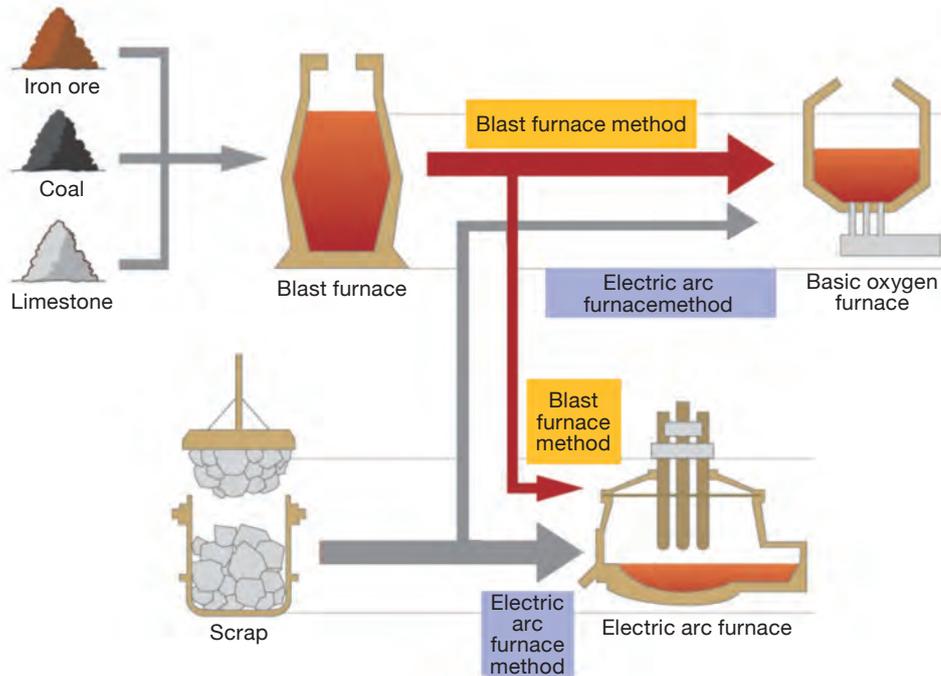


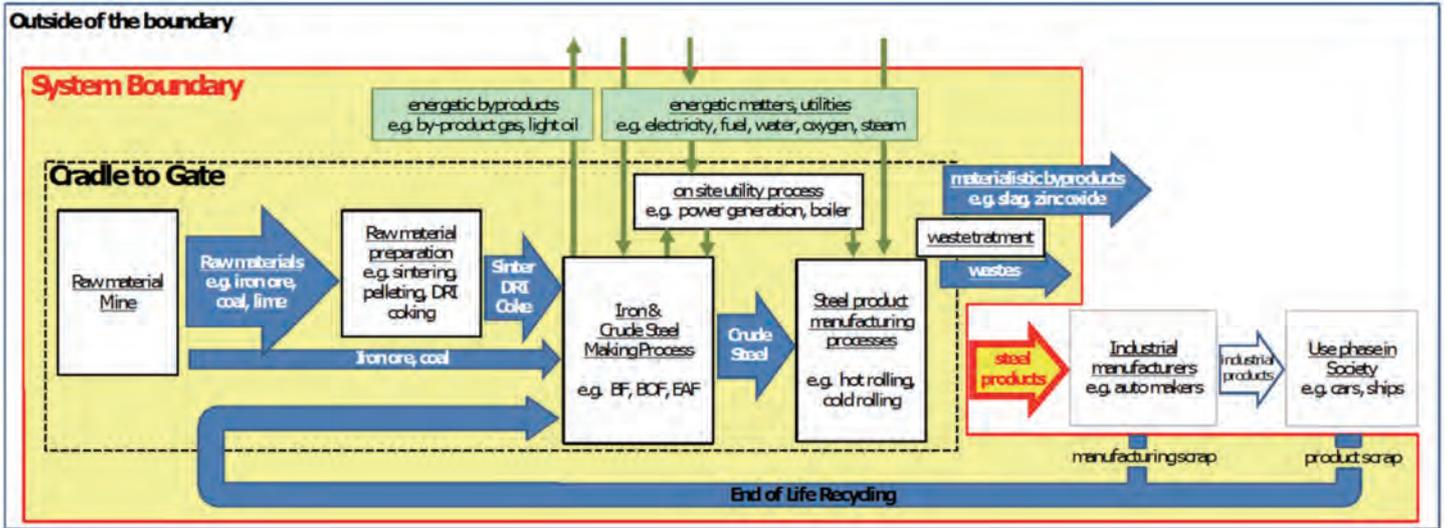
Table 2 Definition of Respective Elements in LCI_{EoL} Equation

Element in equation	Definition
LCI _{EoL}	Steel product LCI (kg-CO2/kg) that takes account of recycling effect; System boundary for LCI calculation of steel products is set to cover product life stages from raw material procurement, production and shipment to external scrap recovery, intermediate treatment, recycling process and scrap LCI; EoL: End of life
Scrap LCI	LCI of external scrap (kg-CO2/kg); External scrap denotes steel scrap recovered from end-of-life end-use product and does not include process scrap and steel shop scrap
X	Steel product LCI (kg-CO2/kg) that does not take account of recycling effect; System boundary for LCI calculation of steel products is set to cover product life stages from raw material procurement to production and shipment (cradle to gate)
X _{pr}	LCI (kg-CO2/kg) of steel product produced by blast furnace method: On the premise of 0% in scrap application rate
X _{re}	LCI (kg-CO2/kg) of steel product produced by electric arc furnace method: On the premise of 100% in scrap application rate
RR	RR (recycling rate) in calculation equation for LCI _{EoL} proposed by worldsteel; In its report, RR is shown using the ratio (kg/kg) of the external scrap recovery amount (kg/y) to the external scrap generation potential (kg/y); RR does not cover yielding in steelmaking employing recovered external steel scrap
Y	Production efficiency in electric arc furnace steelmaking (yield kg/kg); Ratio of steel production to external scrap input (more than 1 kg of external scrap is required to produce 1 kg of steel)
S	Application rate of external steel scrap used in iron- and steelmaking process (kg/kg); The equation does not target process scrap and steel shop scrap

Table 3 Example of Trial Calculation of LCI_{EoL}

	X	RR	X _{pr}	X _{re}	Y	S	LCI _{EoL}
Steelworks I (Blast furnace method image)	1.97	0.88	2.04	0.47	0.93	0.05	0.76
Steelworks II (Electric arc furnace method image)	0.66					0.95	0.76

Fig. 4 System Boundary for LCI Calculation of Steel Products with EoL Recycling



An entire amount of steel scrap (recovered used steel products) is effectively reused as the material in iron and steelmaking process.



In the recycling process, steel products are easily recovered by use of magnetic force as the scrap, which is used again as the material in electric arc furnace steelmaking.



Nearly an entire amount of steel products applied in respective purposes are recovered as the scrap, which is then used to make renewed steel products.

(9~12 頁)

鋼鐵庫存與鋼材的回收率

東京大學工學系研究科特任副教授

醍醐 市朗

鋼材庫存的核算^[D1]

目前，全球每年生產超過 15 億噸的鋼材，用于橋梁、鐵塔、建築物、汽車以及機械等各種用途。^[D2]19 世紀 50 年代發明了采用貝塞麥工藝的煉鋼技術，可用較低的成本生產大量鋼材。從此開始在大約 160 年期間生產的鋼材積累在人工物圈，形成了鋼材的物質庫存。由于鋼材便于回收利用的特性，這種物質庫存也具有稱爲使用後的二次資源潛能的側面。

首先，讓我們簡要說明鋼材的物質庫存。鋼材作爲構件成爲上述的各種產品向社會投放後，在使用地點按照產品的使用期限不斷發揮作用。我們將發揮這種作用狀態的鋼材庫存量稱爲使用中的庫存（照片 1）。如果要問是否還有其他的鋼材庫存狀態，那麼在產業生態的學術領域提出了被稱爲隱藏庫存或者冬眠庫存的區分。隱藏庫存指鋼材在完成作用後成爲不使用的狀態，是仍存在于人工物圈中的鋼材庫存。冬眠庫存指如同冬眠的動物在春天蘇醒那樣，在隱藏庫存中也存在將來被回收的可能性。日本的鋼材庫存變化狀況如圖 1 所示。這裏的基礎設施庫存指鋼材以外的材料幾乎看不到、只要繼續存在就可發揮作用、其使用期限爲半永久性的、用于基礎設施用途的鋼材。（照片 2）。

照片 1 正在使用的鋼材庫存

圖 1 日本的鋼材庫存的變化狀況（1980 年~2000 年）

照片 2 梳子壩（作爲基礎設施庫存的示例）

物料流和庫存分析^[D3]

鋼材庫存的推測方法大致可分爲兩種。一種是計算現有全部產品的自下而上方法，另一種是按照時序計算投入量與排出量之差（將其稱爲累積順增

量）的自上而下方法。上述的推測結果采用了後者的方法。該推測的難點是排出量的計算。爲了推測包括正在使用的庫存、隱藏庫存在內的全部鋼鐵庫存量，作爲排出量，采用了回收的廢鋼量。另一方面，在推測正在使用的庫存量時，需要計算包括在作爲排出量已經使用的全部產品中的鋼材（廢鋼發生潛能）。前者是圖 2 右側所示的流量，後者是左側所示的流量。作爲後者，雖然難以實際測定，但可通過動態分析推測。動態分析是采用鋼材的各種用途產品的使用期間分布（圖 3），對從以往起各年度向各種用途投入的數量中推測該在年度的 1 年期間的排出量的方法。圖 4 說明了已使用的鋼材的流量。除了已使用的產品以及廢鋼的進出口外，還有在回收利用的中途散失的損耗以及被填埋的部分。對於沒有回收的鋼材，可以考慮用于建築物基礎的基礎樁在建築物解體後沒有拔出而留在原地的情況。此外，如照片 3 所示，在廢棄的隧道前面無人通過的道路旁設置的護欄等也是其中的一例。

圖 2 鋼材的使用後流量

圖 3 日本的鋼材產品的使用期限

照片 3 設置在不使用的道路旁的護欄（冬眠庫存的示例）

廢鋼材的回收能夠超過發生潛能

我們將考慮回收利用效果的 LCA 模型變量之一的 RR 稱爲使用後回收率^[d4]。關於該名稱，由于回收利用率^[d5] 存在各種定義，因此是爲了與其他定義明確區分的名稱。鋼材的使用後回收率是將廢鋼發生的潛能作爲分母、將回收的廢鋼量作爲分子的比列。分母、分子的各量如上所述。

在圖 4（a）中，對日本的廢鋼發生潛能與廢鋼回收量的推測值從 1987 年開始進行比較。對於 2007 年和 2008 年的兩年期間，可理解爲分別在 1 年期間，實際回收的廢鋼超過了來自使用後產品的發生潛能。但是，對於該發生潛能的推測，采用了如圖 3 所示的產品使用期限，也考慮其不確定性，最大、最小

時分別如圖 4 (b)、(c) 所示。即使考慮不確定性，至少在該兩年期間，回收了超過其發生潛能的廢鋼，可以得出這樣的結論。

這兩年期間是資源價格較高、鋼材需求量也較多的時期，可認為以往使用過的、沒有回收而殘留的鋼材產品在該時期被集中回收。例如，在回收成本較高的郊區發生的廢產品，即使殘留在那裏也無影響時，如果作為廢鋼的變賣利潤無法承擔回收成本，則沒有回收的積極性。這種殘留的廢產品作為冬眠庫存存在，可理解為在這兩年期間被回收的結果。

圖 4 廢鋼發生潛能與回收的廢鋼的比較：(a) 最有力值、(b) 最大值、(c) 最小值。

鋼鐵的高效可回收利用性^[D6]

本次的推測揭示了很多新的事實。關於圖 5 所示的廢鋼的使用後回收率，在日本，過去的 20 多年來較高，超過了 80%。此外，回收率隨著價格以及供需狀況從大約 80%至 110%大幅變化。鑒于這種較大的變化，作為考慮回收利用效果的 LCA 模型變量之一的 RR，沒有採用單年的評估結果，希望採用長期評估結果的平均值。如圖 6 所示，根據價格以及供需狀況進行回收、或者沒有回收的廢鋼可認為是重廢鋼，其中特別為低級側的重廢鋼。

在價格高漲期，顯示存在甚至回收冬眠庫存的可能性，同時表明這並不是相對總體量可忽視的數量（圖 7）。因此，鋼材目前沒有被回收並不等於不存在將來被回收的機會，在存在于人工物圈的期間，可以說具有成為未來二次資源的潛能。鋼材的優異回收利用性能包括利用磁性可簡單地與其他材料分離，無須電解即可在制鋼時去除雜質，以及雜質的允許濃度較高，此外，包括時間緩沖在內，使用過產品的高回收率也可認為是優點之一。

圖 5 1987 年至 2010 年的鋼材使用後回收率的變化狀況

圖 6 廢鋼的使用後回收率的變化狀況與重廢鋼回收率的變化狀況

圖 7 廢鋼回收機理中的冬眠庫存的作用



Photo 1 In-use stock of steel

Fig. 1 Steel Stock in Japan during 1980 to 2000

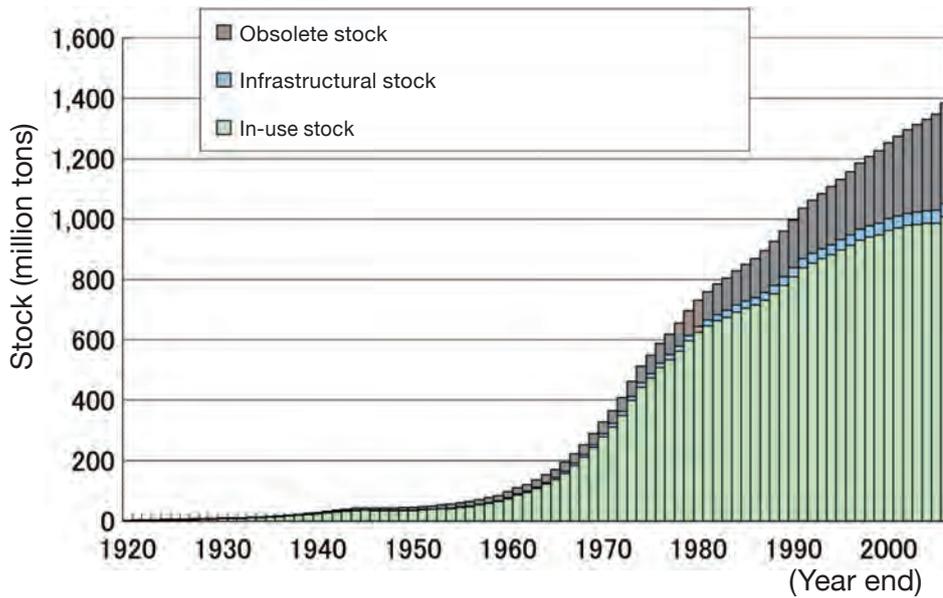


Fig. 2 Material Flows of Steel after Discarding as End-of-life Products

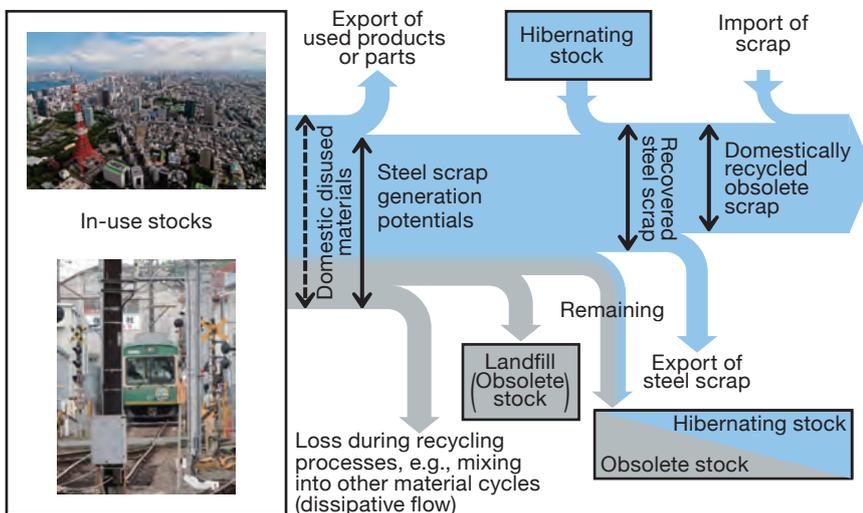


Fig. 3 Lifetime of End-use Products with a Range of Uncertainty

(Regarding buildings and automobiles, actual lifetimes for them can be obtained by statistics.)

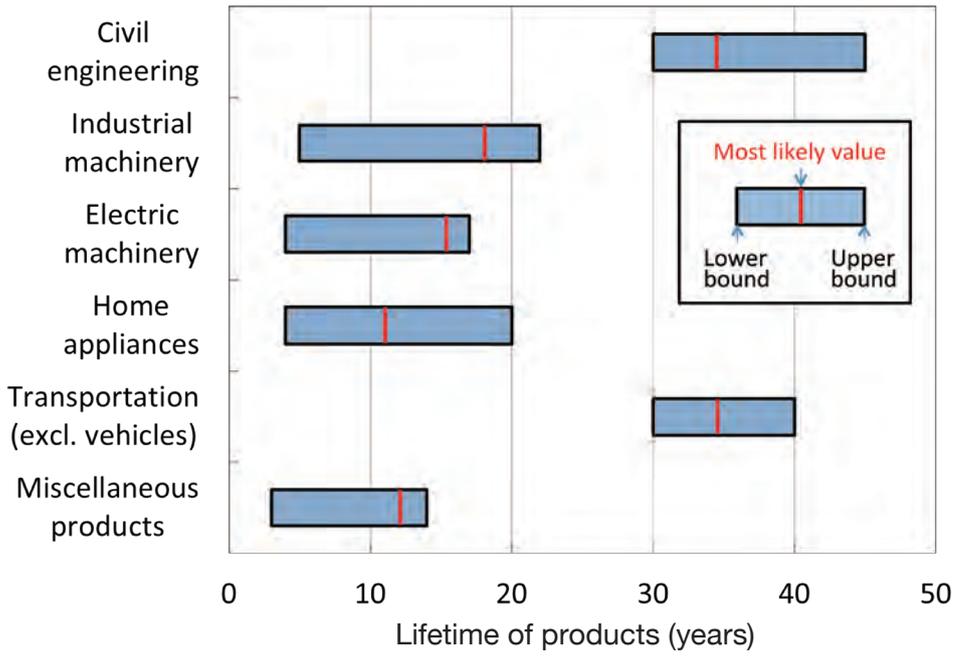


Photo 2 Slit dam as a case of infrastructural stock



Photo 3 Crush barriers on a disused road as a case of hibernating stock

Fig. 4 Comparison between the Steel Scrap Generation Potentials and the Recovered Steel Scrap

(in the cases of the most likely value (a), the maximum value (b), and the minimum value (c))

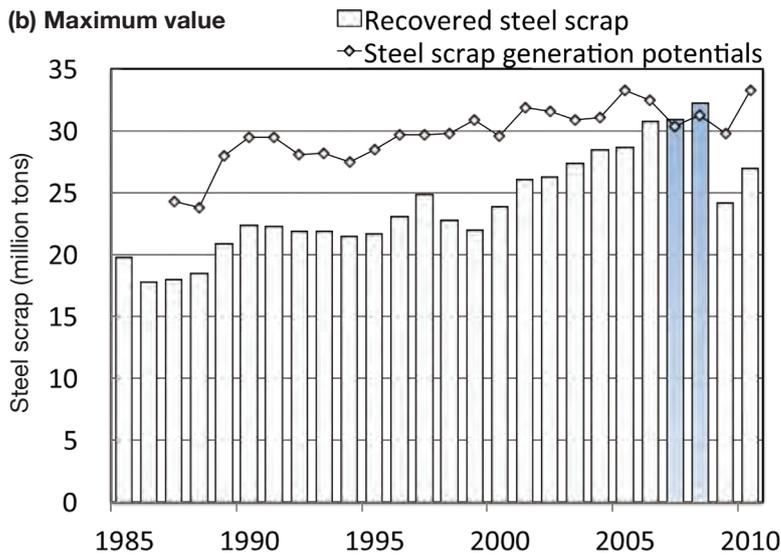
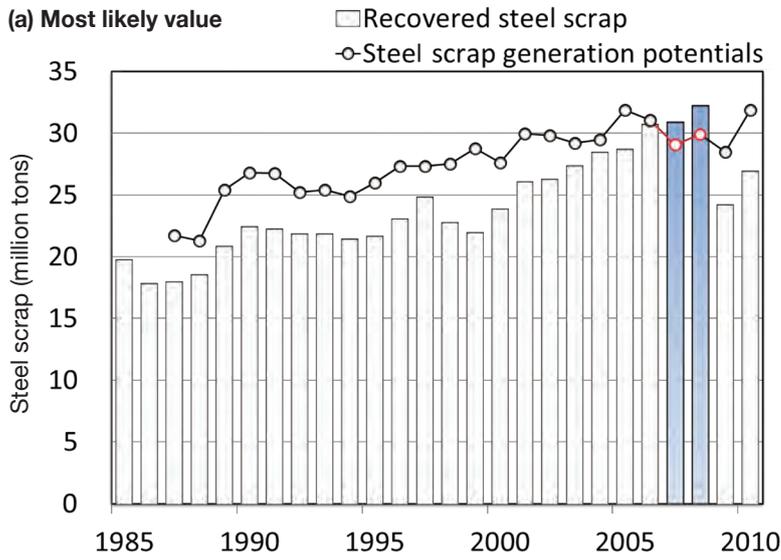


Fig. 5 End-of-life Recycling Rate of Steel in Japan

(The upper and lower bounds show a range of uncertainty.)

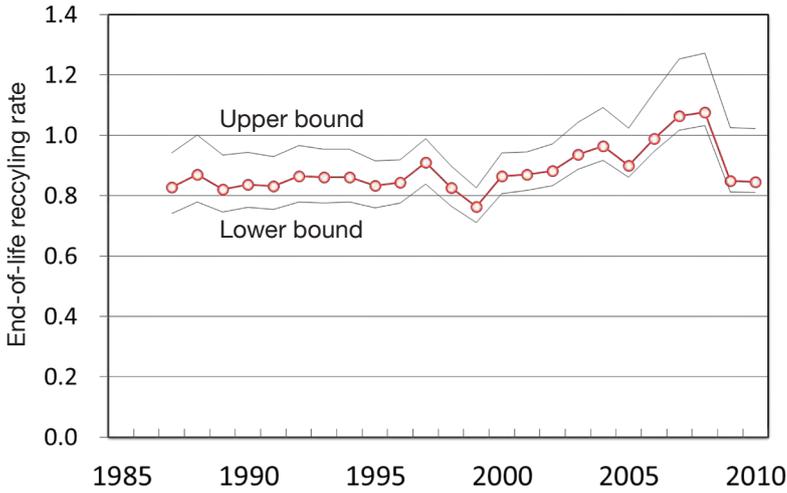


Fig. 6 Amount of Heavy Scrap Recovered by Category relative to its EoL-RR

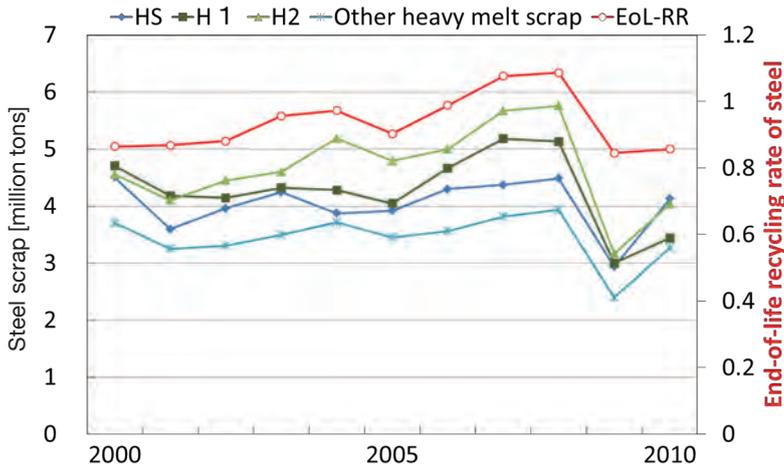
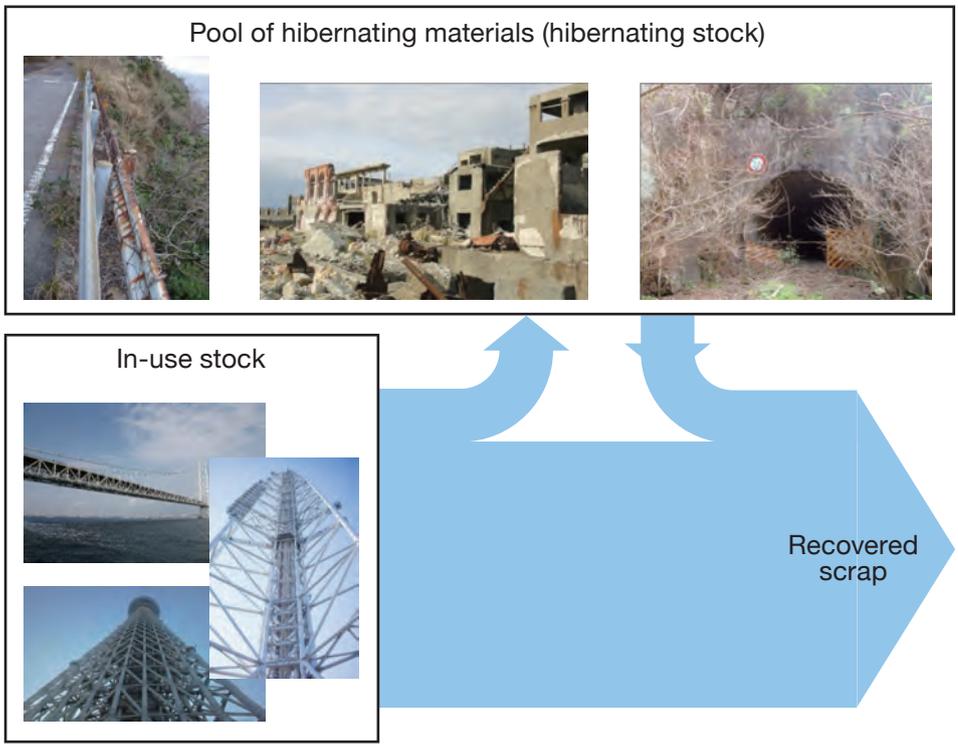


Fig. 7 Schematic Illustration of the Role of Hibernating Stock in Recovery Mechanisms



(13~16 頁)

構建環保型社會的建築用鋼材

日本鋼鐵聯盟 建設環境研究會 委員長

北野 新治

“鐵”是我們身邊最常見的金屬，金屬產品的90%以上是用“鐵”制造的。在日常生活中，由“鐵”構成的產品不計其數。此外，我們生活的地球重量的約30%是“鐵”，也堪稱是最豐富的資源。另外，由于“鐵”可被磁化，容易與其他物質分離，因此廢棄後也便于回收。

最近，雖然誕生了各種新材料，迎來了材料的多樣化時代，然而“鐵”的資源豐富，不僅完美地兼備功能性和經濟性，而且也是回收利用性出色的材料。

本文介紹生產這種性能優異材料——“鐵”的日本鋼鐵行業開展的地球環保工作以及環保型建築鋼材。

鋼鐵行業（高爐法、電爐法）與鋼鐵生產

鋼材可分為以鐵礦石和煤炭等天然原料為主要原料在高爐-轉爐鋼鐵廠生產的轉爐鋼、以及以廢鋼為主要原料在電爐等生產的電爐鋼。

作為轉爐法，在高爐使用煤炭將鐵礦石還原、熔化獲得生鐵，然後送入轉爐吹入氧氣冶煉，是制造高級鋼材的工藝。另一方面，作為電爐法，對在市面上回收的廢鋼通過電弧熔解冶煉，是制造特種鋼或普通鋼的工藝。

鋼鐵產業根據其地點和產品品種，發揮高爐法和電爐法的各自特點，向市場提供各種產品。(圖1)

隨著中國和印度等新興國家的經濟發展，全球的鋼鐵需求在中長期範圍不斷擴大。世界的粗鋼產量至上世紀90年代為止在7億噸前後徘徊。進入21世紀，隨著新興國家、尤其是中國急速的生產規模擴大，在去年度已增加到16億噸以上。在這樣的變化中，與電爐鋼的增加率相比，轉爐鋼的增加率非常高(圖2)。這是由于如果社會資本沒有積累到一

定程度，作為電爐鋼原料的廢鋼不會發生，雖然存在從發達國家向發展中國家的國際性流通，但並非是可全部滿足發展中國家需求的發生量。因此，僅靠電爐的生產無法滿足全球的鋼鐵需求，高爐的生產不可或缺。

作為電爐，因為通過電力熔解廢鋼，與采用煤炭還原鐵礦石的高爐相比，具有二氧化碳的發生量較少的特點。但是在高爐生產的鋼材產品最終將變成廢鋼，成為電爐的主要原料。如上所述，如果從長期視點考慮這些鋼材，可發現形成了一體化的循環體系。所有鋼材產品通過這種循環體系進行多次循環利用，在總體上對節省資源和能源作出貢獻(圖3)。

即使日本國內的鋼鐵制造工藝從高爐轉換到電爐，也不會對地球總體的CO₂減排發揮作用。這是因為從日本出口的廢鋼減少的部分導致在其他國家的高爐產量增加，相反，由于其他國家能源效率較差的高爐產量增加，導致所謂碳泄漏，使地球總體的二氧化碳排放量增加。

圖1 制鋼工藝

圖2 全球粗鋼產量

圖3 鐵的循環概念

鋼鐵行業為了防止地球溫室化採取的措施

◆通過生產工藝防止地球溫室化

日本的鋼鐵行業積極推進環境保護工作。不僅實現了全球最先進的能源效率，而且還開展副產品的有效利用、大氣和水質保護、鋼鐵廠內的綠化等綜合性環保對策。

尤其是對於在鋼鐵廠內副生的巨大能源，通過各種工序進行回收重新利用。在焦爐、高爐、轉爐發生的副產煤氣成為其他各種設備的能源。

此外，關於副生煤氣以外的能源也同樣，采用TRT（高爐煤氣余壓發電）以及CDQ（幹法熄焦設備）等工藝進行回收。目前在日本國內鋼鐵廠采用的節能相關技術如圖4所示。另外如圖5所示，隨

著持續性改進工作的推進，日本鋼鐵行業實現了全球最先進的能源效率。

今後，我們仍將進一步開展工作，並將日本採取的措施和取得的經驗向全球推廣，積極推進國際協作。

圖 4 鋼鐵廠內的節能、節省資源的相關技術

圖 5 關於鋼鐵行業單位能耗的國際水平比較

◆鋼材使用階段的 CO₂ 減排效果

鋼材用于各種用途和產品。其中的很多用于大量、高效地運送人員或物資以及能源的有效利用，對溫室效應氣體的減排作出貢獻。

關於 2013 年度當時因采用日本制造的高性能鋼材的產品對 CO₂ 減排貢獻的推測，日本國內為 976 萬噸，出口為 1582 萬噸（圖 6）。其中節能效果最大的產品是汽車用高強度鋼板，汽車的輕量化對改善燃耗發揮了作用。船舶用高強度鋼板也同樣改善了燃耗。此外，變壓器用取向性電磁鋼板降低了電力損耗，鍋爐用耐熱高強度鋼管對提高發電效率作出貢獻。

圖 6 高性能鋼材發揮的節能、CO₂ 減排效果

對保護地球環境作出貢獻的建築用鋼材

◆對減輕環境負荷發揮作用的建築用鋼材

通過鋼材的高強度化，除了可以減少鋼材用量之外，作為建築用鋼材，在減少建築廢材、節省資源以及實現設備的長壽命等各個方面對減輕地球的環境負荷作出貢獻。

—減少建築廢材

因為鋼材可以回收利用，所以不存在建築廢材，不僅可以削減廢棄物的處理成本，而且也可以對延長緊迫的最終處分場地的壽命作出貢獻。

—節省資源

鋼材便于解體和重新組裝，可以反複重新使用，是十分理想的環保型材料。在日本國內，也有將在

某處使用的橋梁移設到其他地點有效利用的事例（圖 7）。

—長壽命建築物

可實現大跨度、不依賴于抗震壁的鋼骨結構是適合擴建和改建的建築結構，可靈活應對將來的用途變更，能夠成為長壽命的建築物。

圖 7 常磐線 利根川橋梁的重新利用

◆對與自然的協調作出貢獻的建築用鋼材

發揮鋼材具備的強度和加工性能等特性，我們開發了對與自然的協調作出貢獻的各種建築用鋼材。作為以自然為對象的建築施工，與自然的協調和保護自然尤為重要。這些鋼材不會明顯破壞原有的自然狀態，為了保護各種自然狀態在默默地發揮作用。此外，在結束了長期發揮的作用之後，這些鋼材被再次有效地回收利用。

—透水性鋼板樁

采用設有透水孔的鋼板樁，可以不影響原有的水循環，形成有利于生態系和環境的鋼板樁牆。分析結果表明，如果開孔率為 0.4%（ $\phi 55 \sim \phi 70@1000$ ）左右，能夠保證原流量的 80%以上（圖 8）。

—設有栽植翼片的鋼板樁

將綠化用栽植翼片安裝在鋼板樁防波堤上保持土壤，形成多年生草本水生植物的培育基礎，可避免這種結構性功能的損失，覆蓋鋼板樁表面實現綠化（圖 9）。

—透過型鋼制防砂堤堰

透過型堤堰（梳子壩）在發生泥石流或洪水時攔截巨石和流木，使後續的泥沙流向下遊，但平時對溪流的流水沒有影響，可促進砂礫流動，不妨礙動植物的遷移，因此能夠在保留自然狀態的同時控制自然災害的發生。平時不影響泥沙的流動，可防止河床降低以及海岸線後退等，具有保護生態系的效果（圖 10）。

—非透過型鋼制防砂堤堰

利用在現場發生的土砂、砂礫作為填充材料（生

態環保標誌認定標準：70%以上），可形成不影響生態環境的堤堰。能夠大幅度減少廢棄物（殘留土方的處置），降低環境負荷（圖 11）。

圖 8 透水性鋼板樁

圖 9 設有栽植翼片的鋼板樁

圖 10 透過型鋼制防砂堤堰

圖 11 非透過型鋼制防砂堤堰

結語

解決地球環境問題對於產業界而言，未來的重要性將不斷增加。今後，我們不僅繼續推進生產過程中的節省資源和節能工作，而且開發高性能、環保型鋼材，為了防止地球溫室化、實現循環型社會貢獻力量。

Fig. 1 Iron- and Steelmaking Process

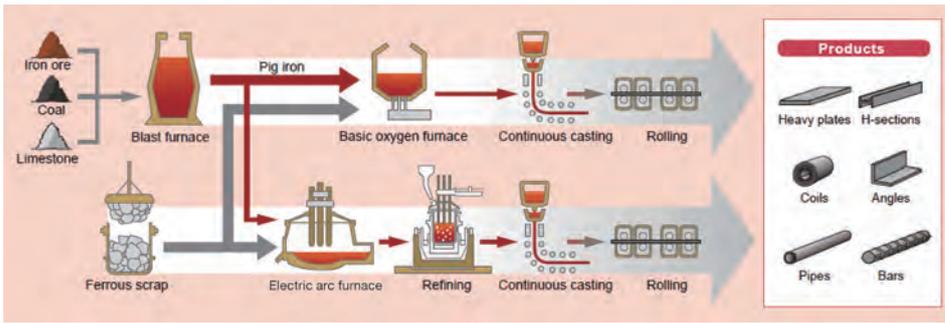


Fig. 2 Crude Steel Production in the World

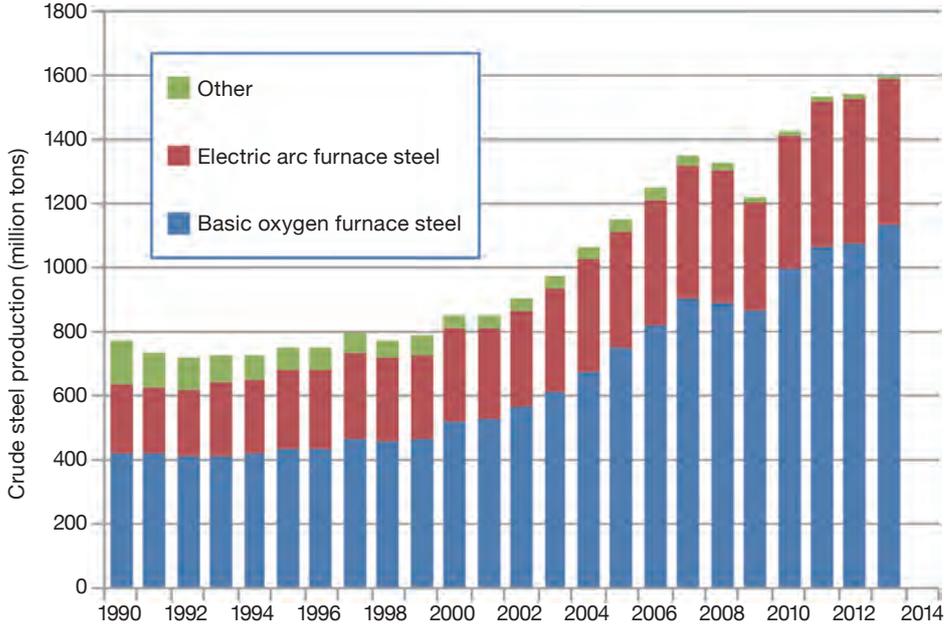
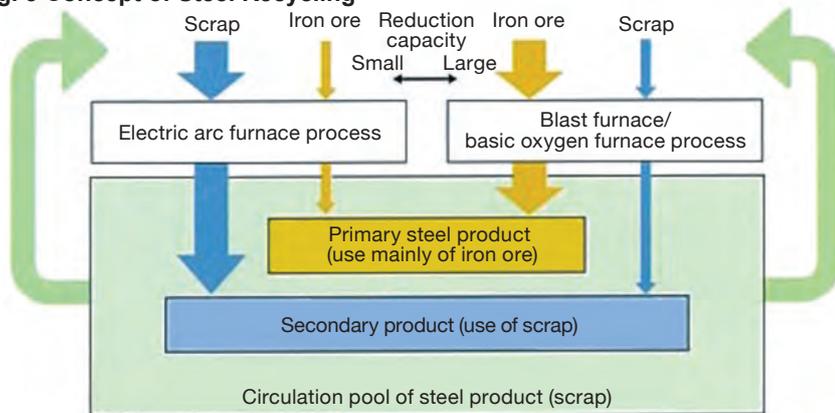
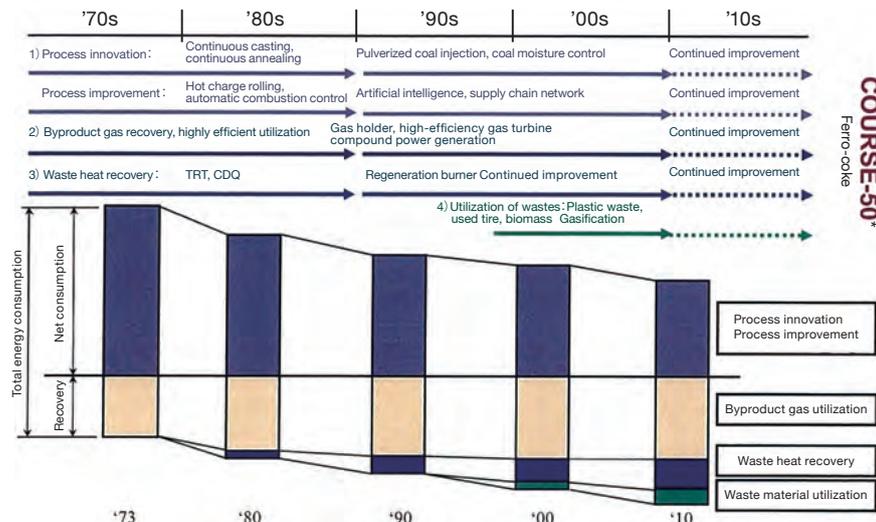


Fig. 3 Concept of Steel Recycling



Source : LCA Methodology Report (worldsteel, 2011)

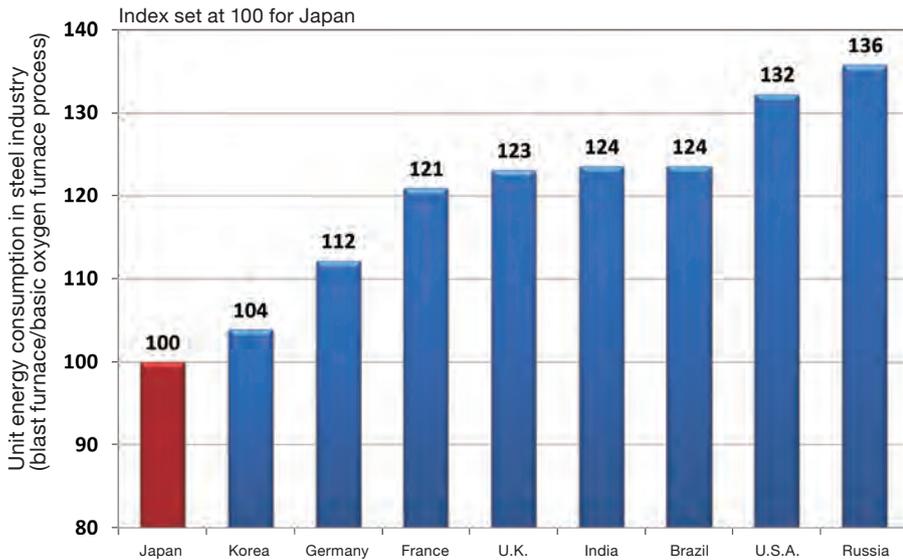
Fig. 4 Major Energy- and Resources-saving Technologies Applied in Steelworks



COURSE-50*
Ferro-coke

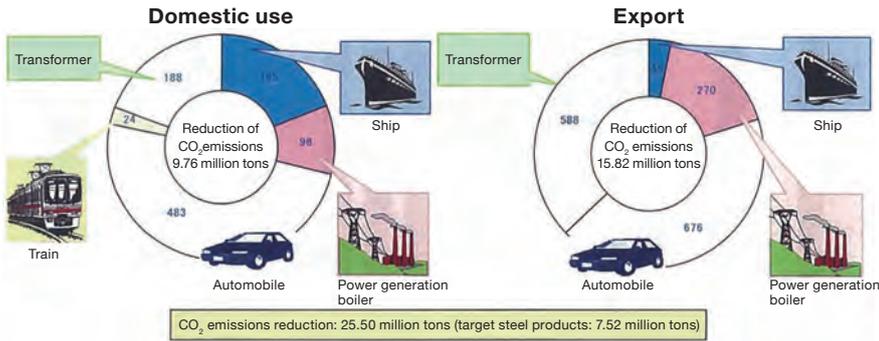
*COURSE-55: Research project on the technology to reduce blast furnace CO2 emissions and to separate/recover CO2 from blast furnace gas
Source: Commitment to a Low-Carbon Society (The Japan Iron and Steel Federation)

Fig. 5 International Comparison of Unit Energy Consumption in the Steel Industry



Source: Indexing of data in "Estimate for Unit Energy in 2010" prepared by Research Institute of Innovative Technology for the Earth

Fig. 6 Effects of CO₂ Emissions Reduction Attained in Five Major End Products (Estimates for 2013)



Source: The Institute of Energy Economics, Japan
 *Five steel products of automotive steel sheet, oriented electrical steel sheet, shipbuilding steel plate, boiler tube and stainless steel plate; 3.677 million tons in domestic use and 3.845 million tons for export in FY2013, totaling to 7.522 million tons
 *Start of assessment for CO₂ emissions reduction: Domestic use from FY1990, export (automobile sheet and shipbuilding plate) from FY2003, boiler tube from FY1998, and electrical sheet from FY1996

Fig. 7 Case of Demolition and Reuse of Steel Structure (Tonogawa Bridge on Joban Line)

The eight-span Tonogawa Bridge on the Joban Line in Ibaragi Prefecture, constructed in 1916, was dismantled to three sections, each of which is currently reused as the railway bridge in three locations: Aganogawa Bridge spanning Agano River in Niigata Prefecture, Shogawa bridge spanning Sho River in Toyama Prefecture, and Daini-Takahara Bridge spanning Daini-Takahara River in Gifu Prefecture.

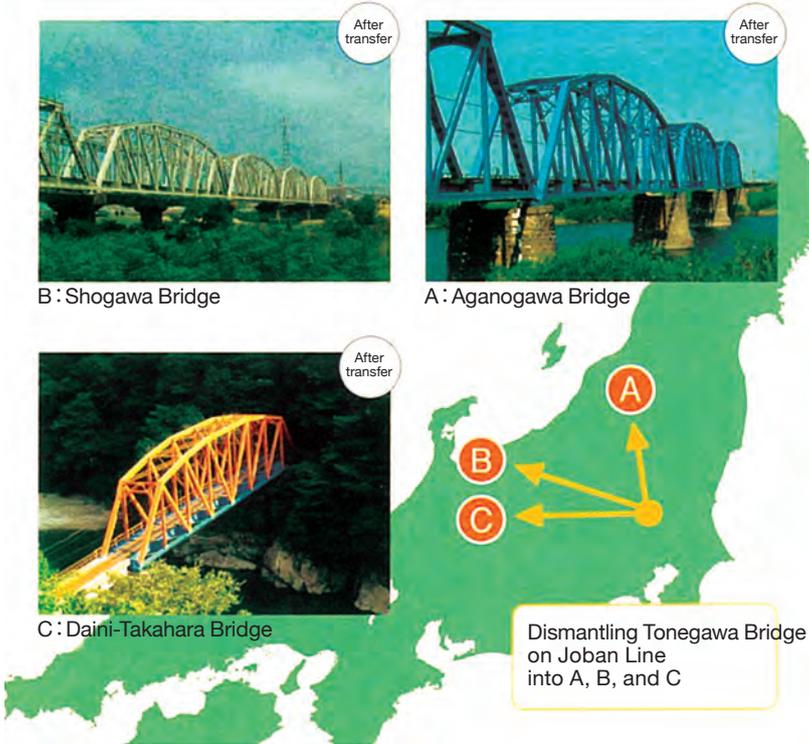


Fig. 8 Water-permeable Steel Piling

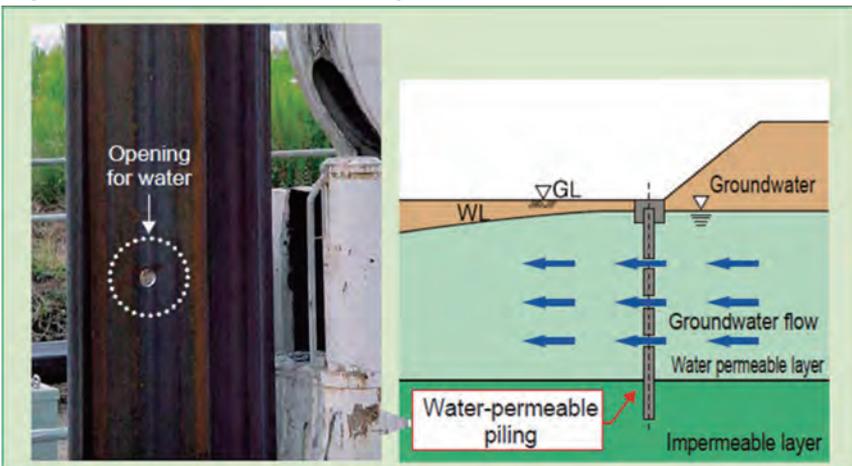


Fig. 9 Steel Pile Embankment Using Planting Fin

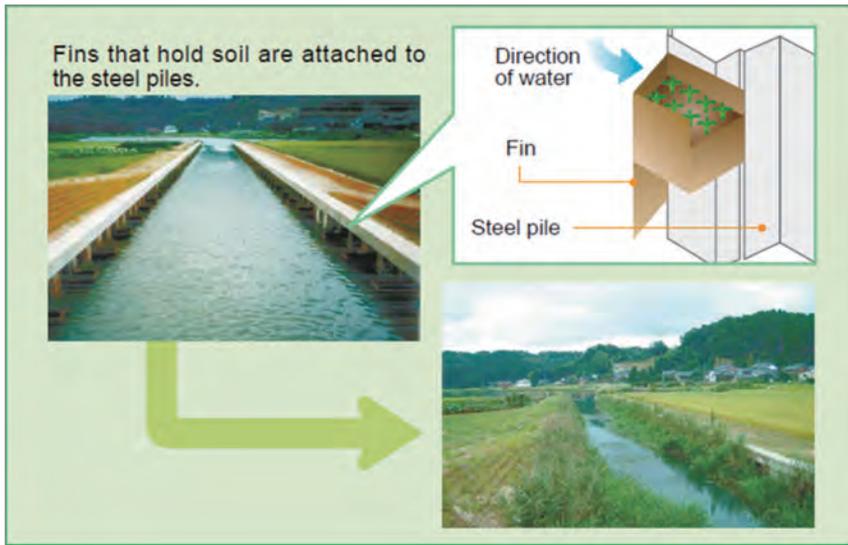


Fig. 10 Water-permeable Steel Dam to Prevent Sand Buildup



Fig. 11 Impermeable Steel Dam to Block Sand



(17~18 頁)

日本鋼結構建設技術的介紹

我們已在本刊 No.43 期說明過，根據日本國土交通省 (Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism) 提出的要求，日本鋼鐵聯盟于 2014 年歸納了鋼結構建設技術的整套資料。為了便于在海外利用日本的建設技術，該資料對建築和土木工程兩個領域的 27 類鋼結構建設技術以及建設用鋼材進行了簡要介紹。這些內容均登載在日本鋼鐵聯盟的網站上，大家可自由閱覽。

(<http://www.jisf.or.jp/en/activity/scft/index.html>)

以下介紹該資料中的 4 項內容。

建築結構用高強度鋼材 (SA440、H-SA700)

SA440 (抗拉強度 590N/mm² 級鋼材)、H-SA700 (780N/mm² 級鋼材) 是為建築結構用途開發的高強度鋼。採用這些高強度鋼，可減輕超高層大廈的立柱鋼骨等大型、極厚鋼骨斷面的尺寸，減輕重量。此外，還可有效實現屋頂桁架等重量構件的輕量化。

圖 SA440、H-SA700 的各項指標

圖 SA440、H-SA700 的重量減少

耐火鋼材 (FR 鋼)

與一般的建築用鋼材相比，耐火鋼材是在高溫下強度較高的鋼材。在 600℃ 時的強度可保證常溫規格強度的三分之二以上。如果採用耐火鋼材，可減少或省略立體停車場等建築物的耐火被覆，由此能夠實現降低成本、縮短工期以及改善作業環境等。

圖 耐火鋼材的高溫性能

照片 立體停車場的應用例

採用鋼材的泥石流對策工藝

採用沖擊吸收性能優異的鋼管構成透過型結構的堤堰。平時不會阻隔河流，使流水和無害的泥沙

通過，發生泥石流時能夠可靠攔截有害物體。

圖 透過型結構堤堰的實際應用

橋梁用耐候性鋼材

耐候性鋼材添加了銅、鎳、鉻等元素，在表面形成保護性鏽層。這種保護性鏽層致密均勻，鏽蝕的進展速度非常緩慢。因此，無須表面塗裝可長期使用，能夠降低鋼橋的維護成本。

圖 耐候性鋼橋的生命周期成本

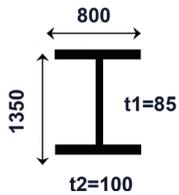
照片 耐候性鋼橋

High-strength Steel for Buildings (SA440, H-SA 700)

SA440 (tensile strength: 590 N/mm²-grade steel) and H-SA700 (tensile strength: 780 N/mm²-grade steel) are high-strength steels developed for building construction. Use of these high-strength steels permits downsizing and weight reduction, especially for

large-size and extra-heavy sections of steel frames, e.g. steel framing columns for high-rise buildings. These steel materials are also effective in reducing the weight of roof trusses and other heavy members.

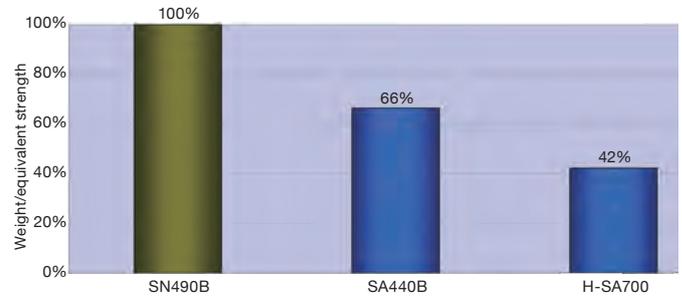
Dimension of Conventional SN490B



Reduced Sectional Dimension of SA440 and H-SA700 due to Higher Strength

	SN490B	SA440	H-SA700
Fy (N/mm ²)	295	440	700
Web Thickness t1 (mm)	85	65	40
Flange Thickness t2 (mm)	100	50	35
Section Area (cm ²)	2578	1711	1085

Reduction of Steel Weight Attained by Use of High-strength SA440 and H-SA700

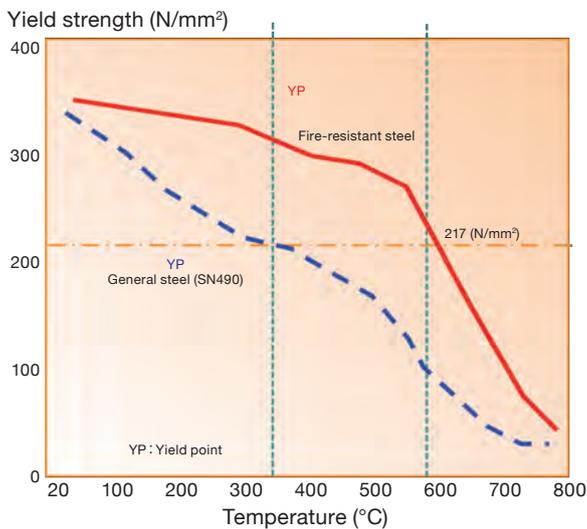


Fire-resistant Steel

Fire-resistant steel exhibits higher strength at high temperatures than do conventional steel building materials. It is guaranteed that at 600°C the proof stress of this material is at least two-thirds the proof stress specified at room temperature. Fire-resistant steel al-

lows the reduced use or elimination of fire protection in the construction of multistory parking facilities and other buildings. This means that such advantages as lower cost, a shorter construction period, and a better working environment can be expected.

High-temperature Performance of Fire-resistant Steel at Elevated Temperatures



Example of application of fire-resistant steel in multi-story car park

Steel Slit Dams for Controlling Debris Flow

This is a permeable steel slit dam built by joining together steel tubes that have outstanding shock absorption. This structure shows particular concern for the environment, as it is designed not to disturb normal river flow, thus allowing the unimpeded passage of water and inoffensive earth and sand. However, once a debris flow occurs, any offensive matter is certain to be captured.

Control of Debris Flow by Steel Slit Dam

Normal condition :



Water and harmless sediments flow down under normal conditions.



In case of debris flood :



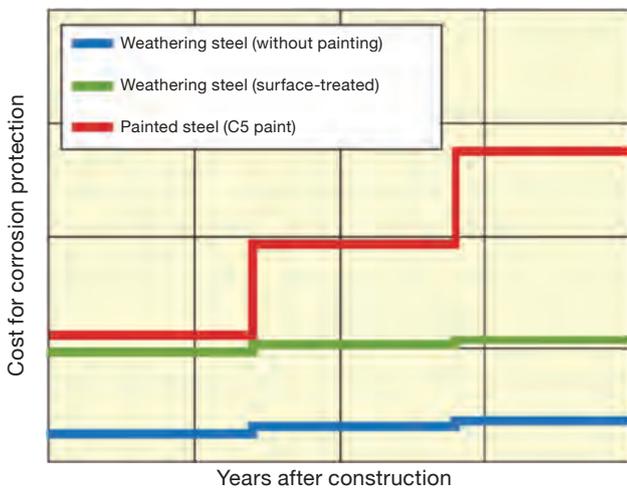
Shift-type structures is designed considering the ecosystem, which does not disrupt river flow.

Weathering Steel for Bridges

Weathering steel forms protective rust on every surface due to the addition of such elements as Cu, Ni, and Cr. This protective coating of rust is tight and homogeneous, and is characterized by an

extremely slow rate of corrosion. This property allows weathering steel to serve a long time without surface painting. This leads to reduced maintenance costs for steel bridges.

Image of Lifecycle Cost Reduction in Weathering Steel Bridges



Application of weathering steel bridge in remote mountainous area

(封底)

日本鋼鐵聯盟開展的活動 在泰國舉辦的兩個研討會

2015年10月，日本鋼鐵聯盟與泰國鋼鐵協會在曼谷聯合舉辦了兩個研討會。這兩個研討會都是作為日本－泰國經濟合作協定的協作事業的一部分策劃實施的。

一個是于13日～14日舉辦的鋼橋研討會，泰國的兩名專家和來自日本的兩名專家發表了有關橋梁的設計以及橋梁用鋼材的演講。另一個是于15日舉辦的有關環境與節能的研討會，來自日本的兩名專家發表了演講。這兩個研討會都有許多人員參加，氣氛高漲，場面熱烈。

關於日本－泰國的協作事業，此外還有計劃在日本舉辦以泰國的技術人員為對象的鋼結構建設研討會以及研修課程。

照片 研討會的盛況

實施 SCT&T 讀者問卷調查

如本刊已在42期～44期上登載的那樣，在2014年8月至2015年6月期間，我們開展了讀者問卷調查。以下介紹調查結果的部分內容。以東南亞各國為中心，我們收到了58份問卷調查的回答。在此向提供回答的各位表示衷心感謝。

在回答中有97%的人員表示本刊對他們目前的工作有所幫助。此外，有88%的人員在目前或者以往的工作中有過使用鋼結構的經驗。在鋼結構中使用最多的鋼材是結構用型鋼。另外，關於沒有采用鋼結構時的理由，回答“成本高”的最多，其次是“業主單位的意向”。關於今後希望本刊登載的主題，回答“橋梁”的最多，其他較多的還有“建築”、“高速公路”、“防腐”、“抗震”以及“鐵路”等。

我們已決定將本次問卷調查的結果向今後的期刊反映。

Seminar on steel bridges



Mr. Nattapon Ratanamalee (ISIT)



Mr. Nuttapon Suttitam (ISIT)



Mr. Toru Watabiki (JFE Engineering Corporation)



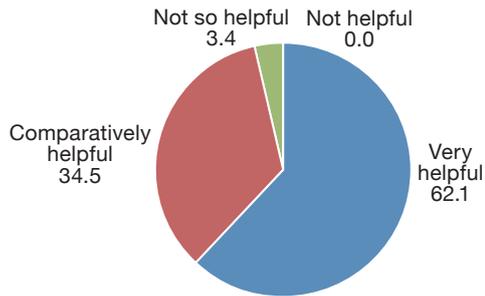
Mr. Hiroyuki Okada (Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation)

Seminar on the environment and energy conservation



(from left to right) JISF staff, Mr. Noriji Numata (JFE Steel Corporation), Mr. Songwoot Graiparpong (ISIT), Mr. Teruo Furuyama (Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation)

Usefulness of Steel Construction Today & Tomorrow for your current work (%)



Is the steel structure used in your current work? (%)

