

STEEL CONSTRUCTION TODAY & TOMORROW

(第 46 期, 2015 年 12 月)
日本钢铁联盟与日本钢结构协会会刊

中文版

英文版期刊《*Steel Construction Today & Tomorrow*》每年出版 3 期, 以相关的企业高管、各工业行业的公司以及管理机构为对象, 面向全球发行。本刊的主要目的是介绍有关钢结构的标准和规范、建筑施工和土木工程领域的先进建设项目实例以及最新施工技术和材料等。

为了更便于中国的读者理解这些内容, 我们对本刊的文字部分编辑了中文版, 与英文版一并提供。有关文中的照片和图表, 我们仅用中文提供其标题, 因此, 关于其内容请参照英文版。另外, 也请参照英文版确认技术性说明和具体的技术内容。

关于照片和图表, 其英文版附在各段文章的最后一页。

第 46 期 (2015 年 12 月) : 目录

特集: LCA与钢铁循环利用	
关于建筑领域钢结构LCA的讨论 -----	1
日本的LCA模型的事例及课题 -----	2
考虑钢材产品回收利用效果的环境评估方法 -----	5
钢铁库存与钢材的回收率 -----	9
构建环保型社会的建筑用钢材 -----	13
日本钢结构建设技术的介绍 -----	16
日本钢铁联盟开展的活动 -----	封底

注: 页数为英文版第 46 期的页数
中文版: ©一般社团法人日本钢铁联盟 2015

邮政编码 103-0025
东京都中央区日本桥茅场町 3-2-10
一般社团法人 日本钢铁联盟
传真: 81-3-3667-0245
电话: 81-3-3669-4815
电邮地址: sunpou@jisf.or.jp
URL <http://www.jisf.or.jp>

(1 页)

关于建筑领域钢结构 LCA 的讨论

日本钢铁联盟建设环境研究会

关于对日本国内公共事业的招标制度以及绿色采购法采用 LCA 方法，日本钢铁联盟建设环境研究会正在开展讨论，通过与高炉法、电炉法的回收利用协作以及通过高性能钢材降低环境负荷等，为了确立钢材的优异环保性能的相关评估方法而着手推进，并且开展促进环保型建筑用钢材的普及活动。同时，为了理解钢结构的杰出环保性能，我们以从事建筑行业工作的各种人员为对象，每年在东京举办“绿色钢材研讨会”。

作为这些活动的一个部分，2010 年，我们在日本钢结构协会内成立了由学识渊博人士、钢材厂商以及用户构成的“建筑领域的钢结构 LCA 讨论分会”，针对建设领域的 LCA 方法开展信息收集和研究，同时对钢材的 LCA 应有状态开展讨论。去年，我们对研究成果进行了总结。

关于分会的这些活动成果，我们在建设环境研究会于 2014 年 11 月 27 日举办的第 4 届绿色钢材研讨会（GSS）上，发表了以“有关社会资本的整建和生命周期的最新工作推进～钢材在建筑领域的回收利用优势～”为主题的报告（表、照片）。

本期概要介绍在 GSS 会议上发表的讨论分会的部分活动成果，并介绍日本钢铁行业对保护地球环境做出的贡献。

表：主题、讲师名录

照片：第 4 届绿色钢材研讨会

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 页)

日本的 LCA 模型的事例及课题

诹访东京理科大学工学部 教授

奈良 松范

LCA 的概要

关于生命周期评估 (LCA)，国际标准化组织 (ISO) 从 1993 年开始着手开展规格化作业，1997 年公布了 ISO 14040: LCA 的原则与框架、ISO 14041: 盘查分析、ISO 14049: 盘查分析事例。1995 年设立了产官学联合的 LCA 日本论坛推进研究。2007 年，钢结构协会也开始进行有关钢材、钢结构的 LCA 研究。此外，在 2009 年制定绿色采购法时，国土交通省也开始讨论公共事业的 LCA。目前，虽然开展许多 LCA 的理论研究和事例研究，但是获取盘查数据耗费了大量劳力。由于建筑业的多数企业协作进行单品订货生产形成了多重结构，因此造成盘查数据的收集困难。然而近年来，国土交通省国土技术政策综合研究所与土木学会开展合作研究，也正在向着解决这个课题的方向努力，在公共事业方面也使得盘查分析 (LCI) 成为可能。这是并用产业相关的报表和累积数据的混合型盘查数据，能够以二氧化碳排放量及金额等为评估参数对材料、工艺以及建筑物实施 LCA。

LCA 的课题

关于日本建筑领域 LCA 的运用，在新的尝试方面也存在课题，包括适用范围限定在材料制造、建筑阶段的生命期，将二氧化碳排放量作为主体而有关其他环境负荷的评估 (与交易、综合性指标等的关联) 不充分，钢材等多次回收利用的效果没有定量化等。

将使用过的钢材 (钢铁材料) 作为废钢回收多次使用，对此人们往往认为理所当然，但实际上与其他材料相比，这种反复的回收利用对于降低环境负荷是突出的特性。换言之，与许多材料的降级循环利用相比，钢铁等金属材料可实现同级循环利

用。

在循环利用的回收工艺方面，使用磁铁可容易地完成钢材分离也是优点。如果金属与其他金属或其他材料形成一体 (结合) 使用，难以将这些材料分离的示例较多，无法开展回收利用。在建筑领域，钢材 (钢铁材料) 作为钢骨结构单独使用，即使采用 RC 结构也可将钢材与混凝土分离，便于在使用后进行分离和回收，因此钢铁与其他金属材料相比，属于易回收利用的状况。

然而，对于这样的回收利用性能高、可多次反复使用的钢材，目前还没有对其环保特性予以妥善评估的方法。生态环保标志等环保标签以及绿色采购法的目的是，通过妥善评估材料或产品的环境负荷，支援其购买，促进构建低环境负荷的社会。但是作为当前的环境影响评估方法，无法评估多次回收利用的效果。目前的状况无法区别仅可回收利用 1 次、与可多次回收利用材料的环保性能的差异。作为一般民众是否也应该会考虑，回收利用次数越高越节省资源、或者环境负荷越低。鉴于上述观点，今后希望制定考虑到回收利用的方便性以及回收利用次数的环境影响评估方法。

另一方面，为了强调钢材的环保性能，也需要积累有关钢材回收利用优点的数据，通过努力获得人们的广泛认可。日本的钢铁制造工艺即使在全球也属于顶级的低环境负荷型工艺。但是在钢铁制造方面付出的降低环境负荷的努力并未结束，仍存在今后进一步改善的余地或可能性。降低资源、能源的用量，废水、废气的高度净化以及减少废弃物等是零排放型钢铁厂商的追求目标。但是，消费枯竭型资源、能源未必增加环境负荷、或者不会直接导致可持续性的降低，妥善利用枯竭型资源有时也能够降低作为地球总体的环境负荷。

LCA 事例

关于 LCA 的事例分析，我们以 122 号国道跨越利根川部分的公路桥、即昭和桥旧桥为对象，根据在《全部社会资本生命周期的环境评估技术的开发》

（国土交通省 国土技术政策综合研究所）中提出的方法（以下简称“综合项目方法”）进行了 LCA 计算。这项工作的目的是，将综合项目方法适用于实际事例进行实际结构体的 LCA 试算，同时对钢桥在各生命期的二氧化碳排放量进行比较。

我们对符合实际的桥梁结构体履历的生命周期以及按照目前的技术水平反映社会环境的设想生命周期两种案例进行二氧化碳排放量的试算。计算案例 1 是在昭和桥旧桥的实际使用期间（44 年期间）的二氧化碳排放量，案例 2 是将昭和桥旧桥作为样板案例假设今后建造同样的桥梁，将讨论的对象期间设为 200 年（建造的 100 年后重建）时的二氧化碳排放量。案例 1 的生命周期二氧化碳排放量如图 1 所示，案例 2 的生命周期二氧化碳排放量如图 2 所示。

图 1 44 年期间生命周期的二氧化碳排放量(案例 1)

图 2 200 年期间生命周期的二氧化碳排放量(案例 2)

对钢桥在各生命期的二氧化碳排放量进行比较的结果表明，这两个案例同样，设计、建造阶段与解体、回收阶段合计的二氧化碳排放量超过全部生命周期二氧化碳排放量的 90%，计划时的材料及工艺选择的决策对 LCA 的结果产生重要影响。同样，这两个案例在维持和管理阶段的二氧化碳排放量都很少，但解体、回收阶段的二氧化碳排放量竟达到设计、建造阶段数值的 25%，显然产生了较大的环境影响。

为了在整个结构体的生命周期减少二氧化碳排放量，不仅需要减少因制造建造时使用的材料产生的环境负荷，还需要考虑结构体在解体时的回收方便性以及回收后的循环使用性。

今后的展开

今后，我们考虑以可持续性为切入口评估材料的环境性能。对于可持续性，必须考虑枯竭型资源

和稀少材料的使用状况、以及数代未来的状况，通过长期规划和未来环境预测进行评估。这也是预测钢铁的未来。另外，对产品进行经济性评估也不可或缺。在市场上，不仅要求具备良好的环境性能，也要求具备降低内部及外部不经济的经济性优点。关于经济性，通过以削减被称为废品的废弃物等的内部不经济为目的的物料流量成本分析（MFCA），可对环境经济性能进行评估。

如上所述，我们希望在战略性环境评估方面的作业程序透明，评估结果具备科学性，便于任何人理解，并且充分反映民众的意见。从易于理解环境影响的角度考虑，LCA 是有效的方法，量化的性能可获得民众理解。此外，由于贯穿整个生命周期的 MFCA 将环境性能置入经济系统，所以是有效的手段。因此，今后钢铁可能应该用“LCA 经济学”的说法来表述，讨论可多次回收利用材料的优点以及这些材料对降低成本的贡献。为此，通过确立 LCA 方法妥善评估钢铁的环保性能，同时通过 ISO 及 JIS 等实现规格化，在获得社会共识的同时，持续研究其运用方法至关重要。（表 3）

图 3 环境、成本以及社会的三足鼎立

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

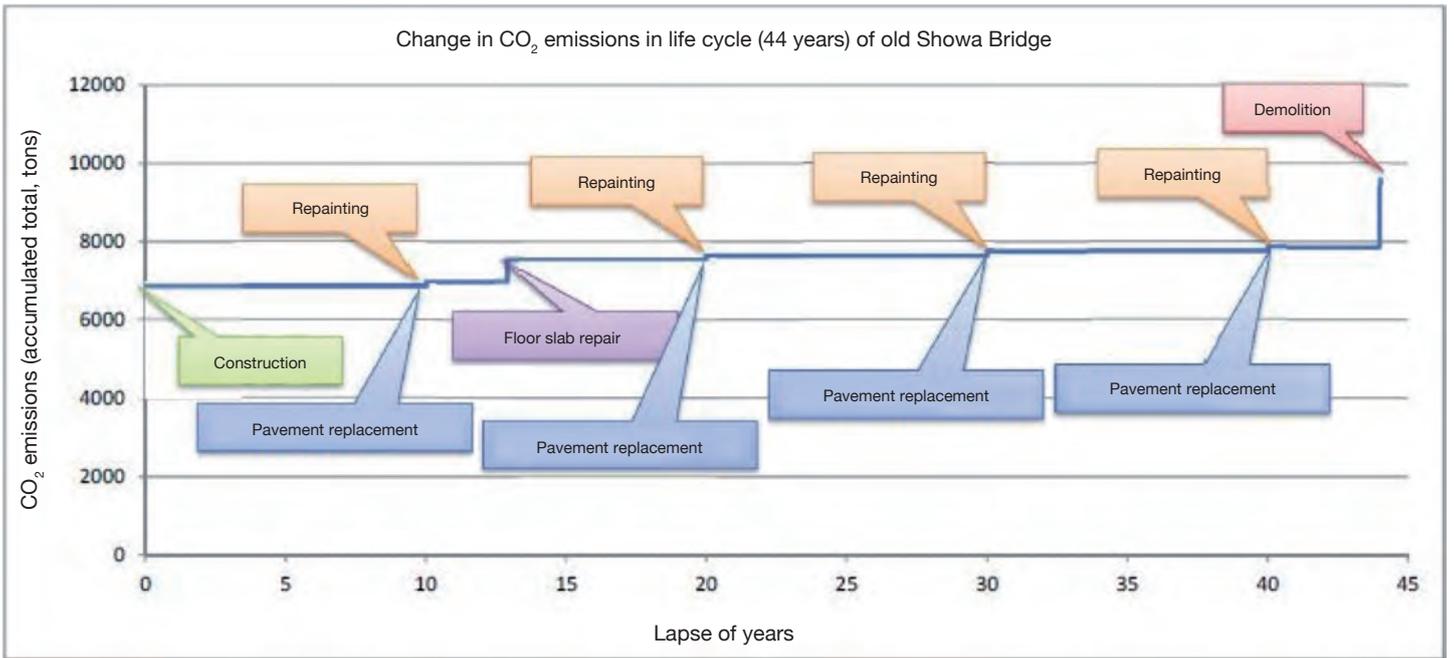


Fig. 2 CO₂ Emissions in 200-year Life Cycle at Model Bridge (Case 2)

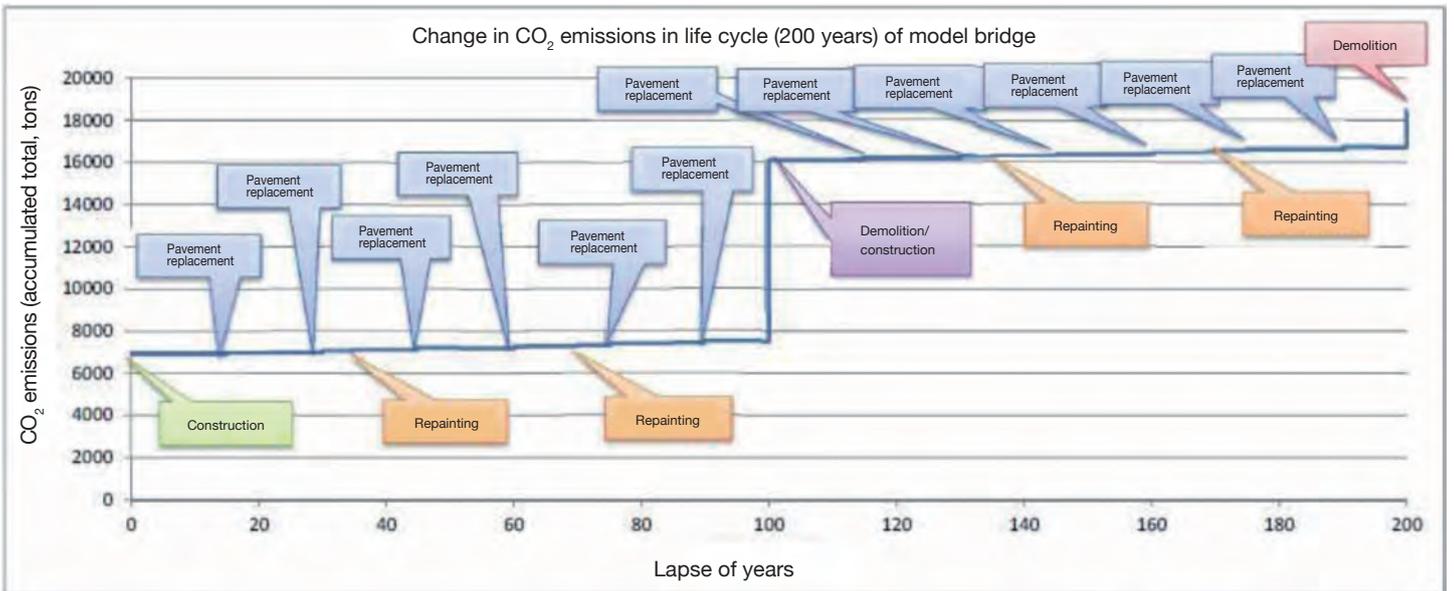


Fig. 3 Ratio and Tonnage of CO₂ Emissions in 44-year Life Cycle by Life Stage at Old Showa Bridge (Case 1)

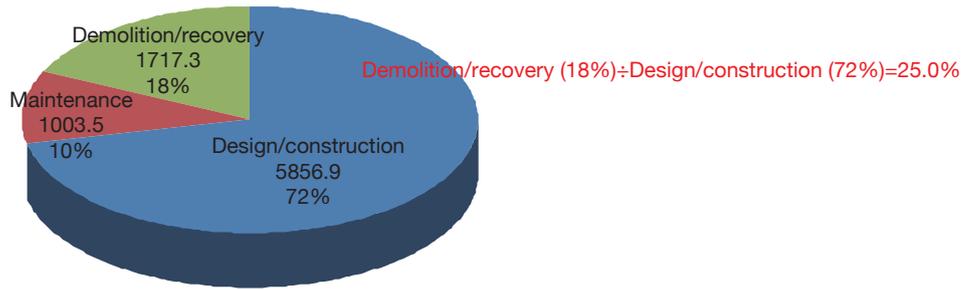


Fig. 4 Ratio and Tonnage of CO₂ Emissions in 200-year Life Cycle by Life Stage at Model Bridge (Case 2)

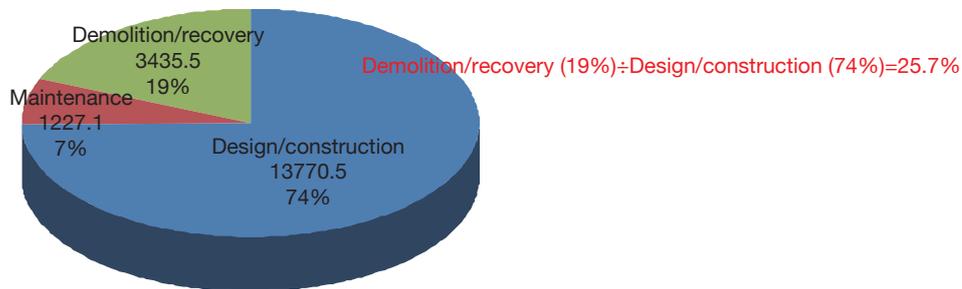
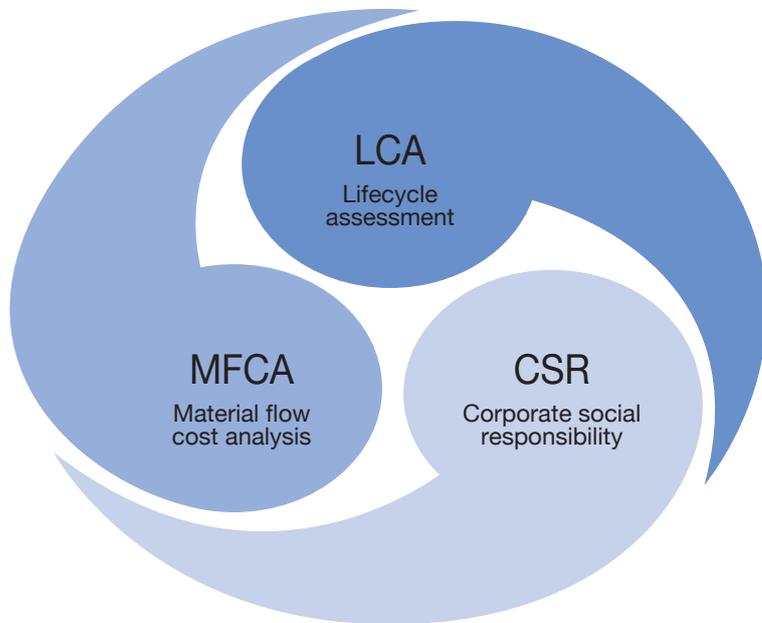


Fig. 5 Striking a Balance between Environment, Cost and Society



(5~8 页)

考虑钢材产品回收利用效果的环境评估方法

日本钢铁联盟建设环境研究会 副委员长

平川 智久

关于钢材产品的回收利用

以下介绍的钢材产品二氧化碳单位排放量的计算方法（以下简称“LCI 计算方法”）以国际钢铁协会（worldsteel）提出的 LCI 计算方法[worldsteel (2011)]为基础。这种方法将开环循环利用和闭环循环利用（同级循环利用）予以明确区分。

开环循环利用将材料回收后用于新的其他产品的系统、以及改变固有物性的系统（降级循环利用或热能回收）；闭环循环利用不改变物性，适用于可循环利用于相同用途的产品。

在建材领域，以钢筋及钢筋等为代表的钢材产品如表 1 所示，在回收利用中不改变基本物性制成新的钢材，可重新用于相同用途的产品。也就是说，钢材产品可实现同级循环利用。

表 1 不同材料回收利用的区别

作为以钢材产品为代表的可同级循环利用的材料，即使反复进行回收利用，材料本身的价值也不会降低，基本上没有废弃和浪费，在社会中循环。钢材产品在日本国内的循环状况如图 1 所示。

图 1 日本的钢铁循环图

考虑回收利用效果的评估构想

虽然考虑回收利用的 LCI 计算有多种方法，但国际钢铁协会建议考虑生命终结的方法。这种方法以钢材产品可同级循环利用为前提，将某产品制造所产生的温室效应气体排放量向下一代产品重新分配，使钢材产品制造中的环境负荷均等。也就是不区分还原铁矿石生产的钢材产品（高炉产品）和主

要熔解废钢生产钢材产品（电炉产品）的总体性方法。其概念如图 2 所示。

关于钢材产品制造的高炉法与电炉法的关系

在钢铁生产中，高炉法表示通常在高炉将铁矿石熔化成铁（铁水）、然后送入转炉炼钢的高炉/转炉工艺；电炉法表示通常使用电炉重新熔解废钢，将废钢转换成新钢的电炉工艺。然而如图 3 所示，高炉法并不仅限于高炉产品，电炉法也并不仅限于电炉产品。例如，在高炉产品的制造中，一般将 10~20%左右的废钢作为铁源使用；在电炉产品的制造中，有时将还原铁等作为原料使用。对于钢材产品，可认为按照一定比例合理地采用高炉法和电炉法两种工艺生产。

图 2 生命终结法的概念

图 3 高炉法与电炉法的关系

考虑回收利用效果的 LCI_{EOL} 计算方法

◆废钢的 LCI

以下让我们对于废钢的 LCI（废料 LCI）考虑“采用电炉法从 1kg 的废钢制造 Y kg 钢材代替采用高炉法制造 Y kg 钢材的 LCI”。Y 是采用高炉法制造钢材时的生产效率（成品率）。如果以 X_{re} 表示电炉法的钢材 LCI（以 100%废钢为前提的理论值）、以 X_{pr} 表示高炉法的钢材 LCI（以 0%废钢为前提的理论值），则废钢 LCI 可按以下定义。

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

◆LCI_{EOL} 的计算公式

对于钢材产品的 LCI_{EOL}，可考虑从不计回收利用效果的钢材产品的 LCI (X) 中，扣除对应废钢回收利用率 (RR) 的废钢 LCI，并且加上（重新分配）对应制造时的废钢使用率 (S) 的废钢 LCI 的合计。对此进行整理如下式所示。各要素的定义见表 2。

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

根据①，废钢 $LCI = (X_{pr} - X_{re}) \cdot Y$ ，因此

$$LCI_{Eol} = X - (RR - S) \cdot (X_{pr} - X_{re}) \cdot Y \text{---} ③$$

表 2 LCI_{Eol} 公式的各要素定义

◆ LCI_{Eol} 的计算例

在这里以普通钢钢板为例，对于上述公式的各要素带入表 3 所示的设定值试算 LCI_{Eol} 。结果表明， LCI_{Eol} 为 0.76 (kg-CO₂/kg)，与不计回收利用效果的 $LCI(X)$ 相比，作为高炉为 0.76/1.97→减少 62%，作为电炉 0.76/0.66→增加 15%。对此，将来自铁矿石最初制造的钢材产品产生的温室效应气体排放量向下一代产品稀释重新分配，可考虑不区分高炉钢材和电炉钢材实现环境负荷的均等。

表 3 LCI_{Eol} 的试算例

结语

目前在土木工程和建筑领域，如图 4 所示，对于钢材产品的环境负荷，主要采用对从原料采购到制造、发货的过程分割作为系统分界计算 LCI 的方法。这是仅对钢材产品生命周期的一个断面进行评估的方法，本来应选择考虑回收利用效果（回收利用终结）的 LCI 计算方法。

目前，日本钢铁联盟与国际钢铁协会协作，针对以上介绍的考虑回收利用效果的 LCI 计算方法正在推进实现国际标准化。此外，根据该方法，以从参与企业收集的制造数据为基础，采用该方法计算各品种的具体 LCI 数值，计划在 2016 年 3 月前后公布。

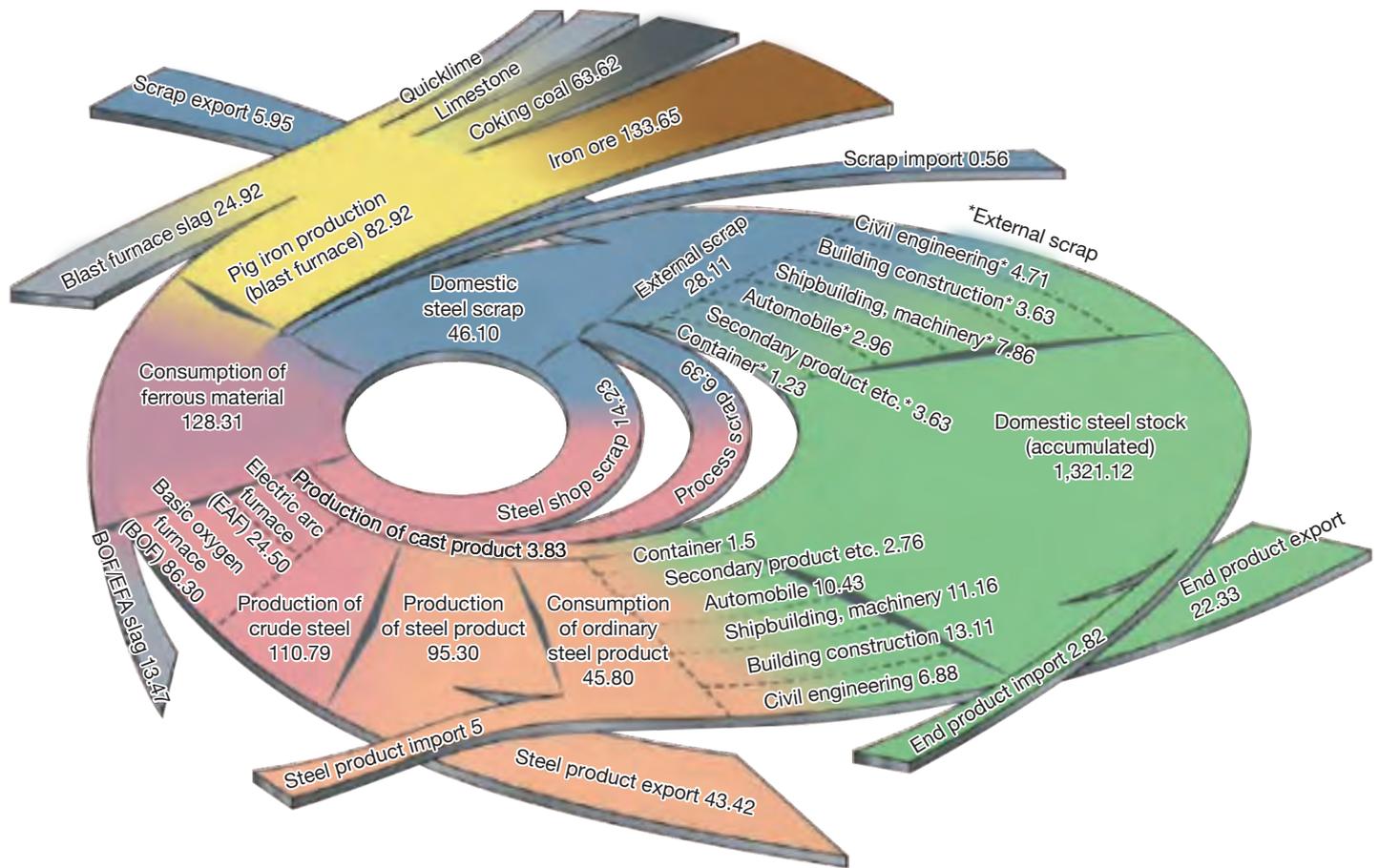
通过本文的内容，如果大家对钢材产品出色的回收利用性能以及运用该特性的 LCI 计算方法予以理解，我们将感到非常荣幸。

图 4 计算钢材产品 LCI 时的系统分界

Table 1 Difference in Recycling by Material

Material recycling	Horizontal recycling	Of recycling systems, the horizontal recycling denotes the process in which a material after recycling is used for the application similar to that before recycling. Ex.: Steel frame, reinforcing bar (structure) → Steel frame, reinforcing bar (structure)
	Cascade recycling (Down cycle)	Of recycling systems, the cascade recycling denotes the process in which a material after recycling is used for the application different from that before recycling. Ex.: Concrete (structure) → Concrete (roadbed material)
Thermal recycling		In thermal recycling, scrap, wastes and other materials are incinerated to recover thermal energy, or called the thermal recovery system. (Distinguished from material recycling) Ex.: Lumber, plywood → Fuel source

Fig. 1 Circulation of Iron and Steel Products in Japan (FY2010)



(unit: million tons)

Source: The Japan Iron and Steel Federation

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

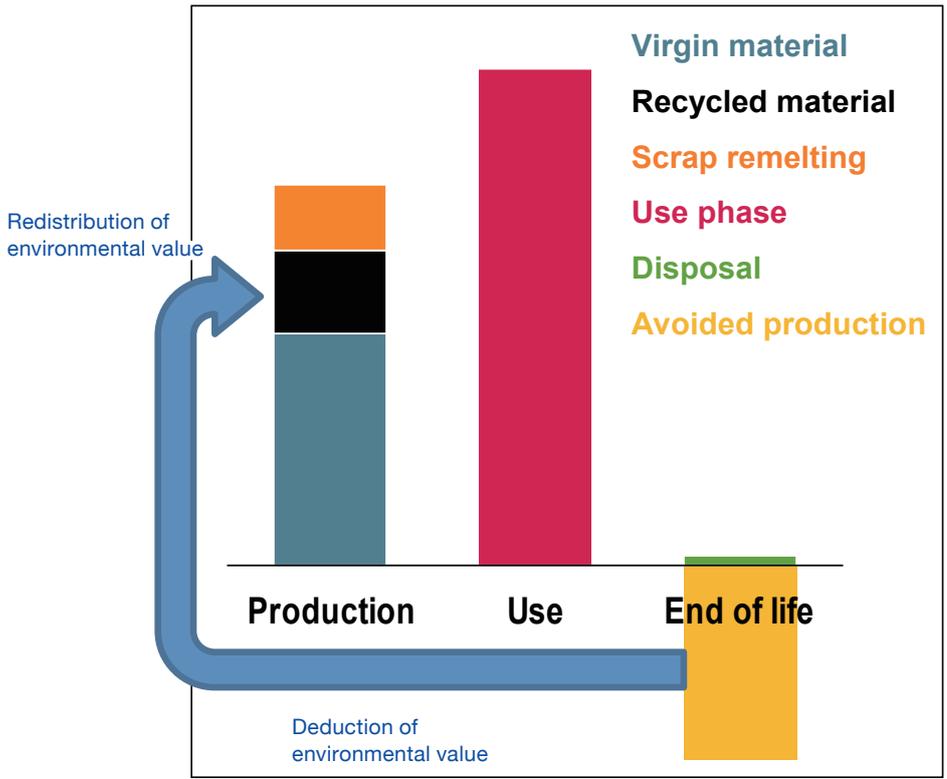


Fig. 3 Relation between Blast Furnace Method and Electric Arc Furnace Method

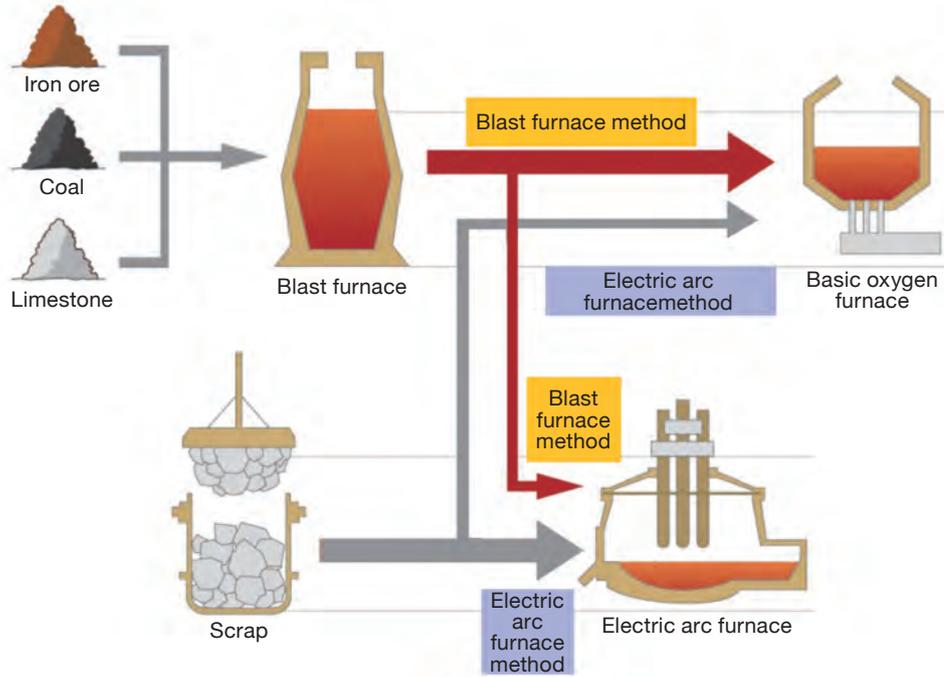


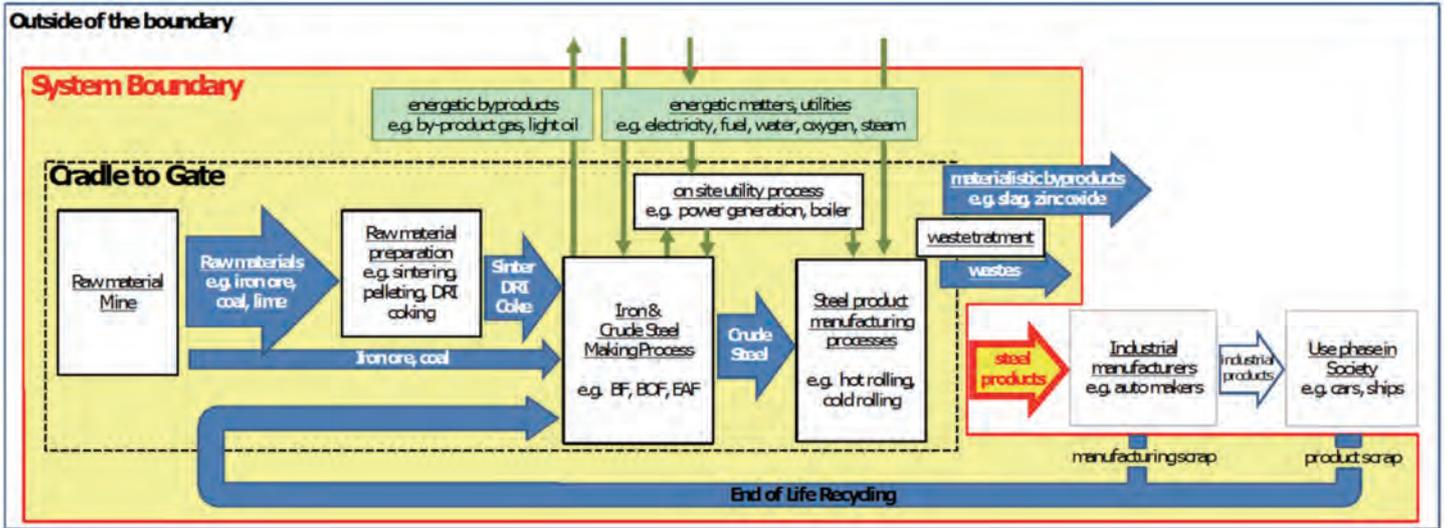
Table 2 Definition of Respective Elements in LCI_{EoL} Equation

Element in equation	Definition
LCI_{EoL}	Steel product LCI (kg-CO ₂ /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-CO ₂ /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-CO ₂ /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-CO ₂ /kg) of steel product produced by blast furnace method: On the premise of 0% in scrap application rate
X_{re}	LCI (kg-CO ₂ /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 页)

钢铁库存与钢材的回收率

东京大学工学系研究科特任副教授

醍醐 市朗

钢材库存的核算_[D1]

目前,全球每年生产超过 15 亿吨的钢材,用于桥梁、铁塔、建筑物、汽车以及机械等各种用途。_[D2]19 世纪 50 年代发明了采用贝塞麦工艺的炼钢技术,可用较低的成本生产大量钢材。从此开始在大约 160 年期间生产的钢材积累在人工物圈,形成了钢材的物质库存。由于钢材便于回收利用的特性,这种物质库存也具有称为使用后的二次资源潜能的侧面。

首先,让我们简要说明钢材的物质库存。钢材作为构件成为上述的各种产品向社会投放后,在使用地点按照产品的使用期限不断发挥作用。我们将发挥这种作用状态的钢材库存量称为使用中的库存(照片 1)。如果要问是否还有其他的钢材库存状态,那么在产业生态的学术领域提出了被称为隐藏库存或者冬眠库存的区分。隐藏库存指钢材在完成作用后成为不使用的状态,是仍存在于人工物圈中的钢材库存。冬眠库存指如同冬眠的动物在春天苏醒那样,在隐藏库存中也存在将来被回收的可能性。日本的钢材库存变化状况如图 1 所示。这里的基础设施库存指钢材以外的材料几乎看不到、只要继续存在就可发挥作用、其使用期限为半永久性的、用于基础设施用途的钢材。(照片 2)。

照片 1 正在使用的钢材库存

图 1 日本的钢材库存的变化状况(1980 年~2000 年)

照片 2 梳子坝(作为基础设施库存的示例)

物料流和库存分析_[D3]

钢材库存的推测方法大致可分为两种。一种是计算现有全部产品的自下而上方法,另一种是按照时序计算投入量与排出量之差(将其称为累积顺增

量)的自上而下方法。上述的推测结果采用了后者的方法。该推测的难点是排出量的计算。为了推测包括正在使用的库存、隐藏库存在内的全部钢铁库存量,作为排出量,采用了回收的废钢量。另一方面,在推测正在使用的库存量时,需要计算包括在作为排出量已经使用的全部产品中的钢材(废钢发生潜能)。前者是图 2 右侧所示的流量,后者是左侧所示的流量。作为后者,虽然难以实际测定,但可通过动态分析推测。动态分析是采用钢材的各种用途产品的使用期间分布(图 3),对从以往起各年度向各种用途投入的数量中推测该在年度的 1 年期间的排出量的方法。图 4 说明了已使用的钢材的流量。除了已使用的产品以及废钢的进出口外,还有在回收利用的中途散失的损耗以及被填埋的部分。对于没有回收的钢材,可以考虑用于建筑物基础的基础桩在建筑物解体后没有拔出而留在原地的情况。此外,如照片 3 所示,在废弃的隧道前面无人通过的道路旁设置的护栏等也是其中的一例。

图 2 钢材的使用后流量

图 3 日本的钢材产品的使用期限

照片 3 设置在不使用的道路旁的护栏(冬眠库存的示例)

废钢材的回收能够超过发生潜能

我们将考虑回收利用效果的 LCA 模型变量之一的 RR 称为使用后回收率_[d4]。关于该名称,由于回收利用率_[d5]存在各种定义,因此是为了与其他定义明确区分的名称。钢材的使用后回收率是将废钢发生的潜能作为分母、将回收的废钢量作为分子的比例。分母、分子的各量如上所述。

在图 4 (a) 中,对日本的废钢发生潜能与废钢回收量的推测值从 1987 年开始进行比较。对于 2007 年和 2008 年的两年期间,可理解为分别在 1 年期间,实际回收的废钢超过了来自使用后产品的发生潜能。但是,对于该发生潜能的推测,采用了如图 3 所示的产品使用期限,也考虑其不确定性,最大、最小

时分别如图 4 (b)、(c) 所示。即使考虑不确定性，至少在该两年期间，回收了超过其发生潜能的废钢，可以得出这样的结论。

这两年期间是资源价格较高、钢材需求量也较多的时期，可认为以往使用过的、没有回收而残留的钢材产品在该时期被集中回收。例如，在回收成本较高的郊区发生的废产品，即使残留在那里也无影响时，如果作为废钢的变卖利润无法承担回收成本，则没有回收的积极性。这种残留的废产品作为冬眠库存存在，可理解为在这两年期间被回收的结果。

图 4 废钢发生潜能与回收的废钢的比较：(a) 最有力值、(b) 最大值、(c) 最小值。

钢铁的高效可回收利用性^[D6]

本次的推测揭示了很多新的事实。关于图 5 所示的废钢的使用后回收率，在日本，过去的 20 多年来较高，超过了 80%。此外，回收率随着价格以及供需状况从大约 80%至 110%大幅变化。鉴于这种较大的变化，作为考虑回收利用效果的 LCA 模型变量之一的 RR，没有采用单年的评估结果，希望采用长期评估结果的平均值。如图 6 所示，根据价格以及供需状况进行回收、或者没有回收的废钢可认为是重废钢，其中特别为低级侧的重废钢。

在价格高涨期，显示存在甚至回收冬眠库存的可能性，同时表明这并不是相对总体量可忽视的数量（图 7）。因此，钢材目前没有被回收并不等于不存在将来被回收的机会，在存在于人工物圈的期间，可以说具有成为未来二次资源的潜能。钢材的优异回收利用性能包括利用磁性可简单地与其他材料分离，无须电解即可在制钢时去除杂质，以及杂质的允许浓度较高，此外，包括时间缓冲在内，使用过产品的高回收率也可认为是优点之一。

图 5 1987 年至 2010 年的钢材使用后回收率的变化状况

图 6 废钢的使用后回收率的变化状况与重废钢回收率的变化状况

图 7 废钢回收机理中的冬眠库存的作用



Photo 1 In-use stock of steel

Fig. 1 Steel Stock in Japan during 1980 to 2000

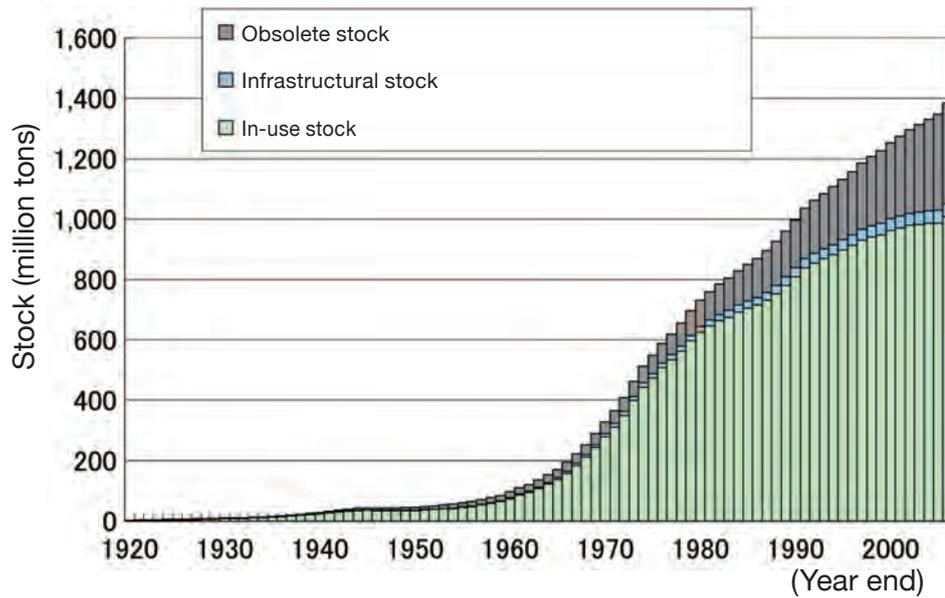


Fig. 2 Material Flows of Steel after Discarding as End-of-life Products

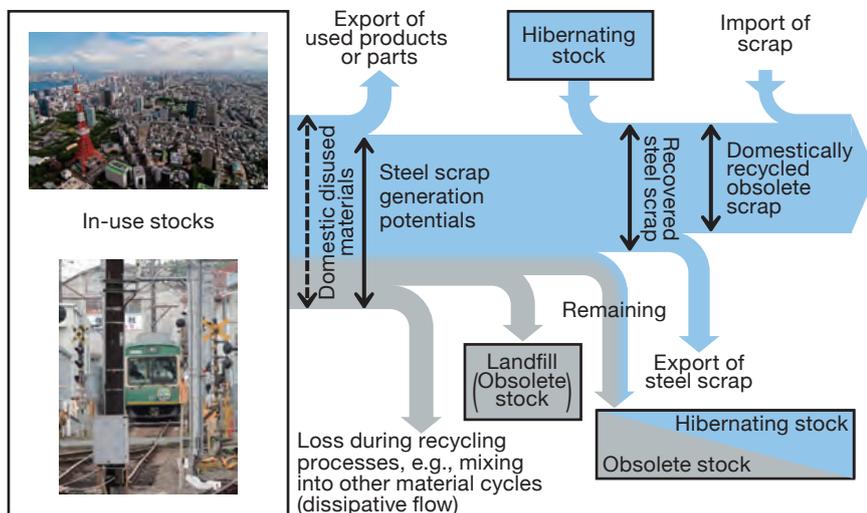


Fig. 3 Lifetime of End-use Products with a Range of Uncertainty

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

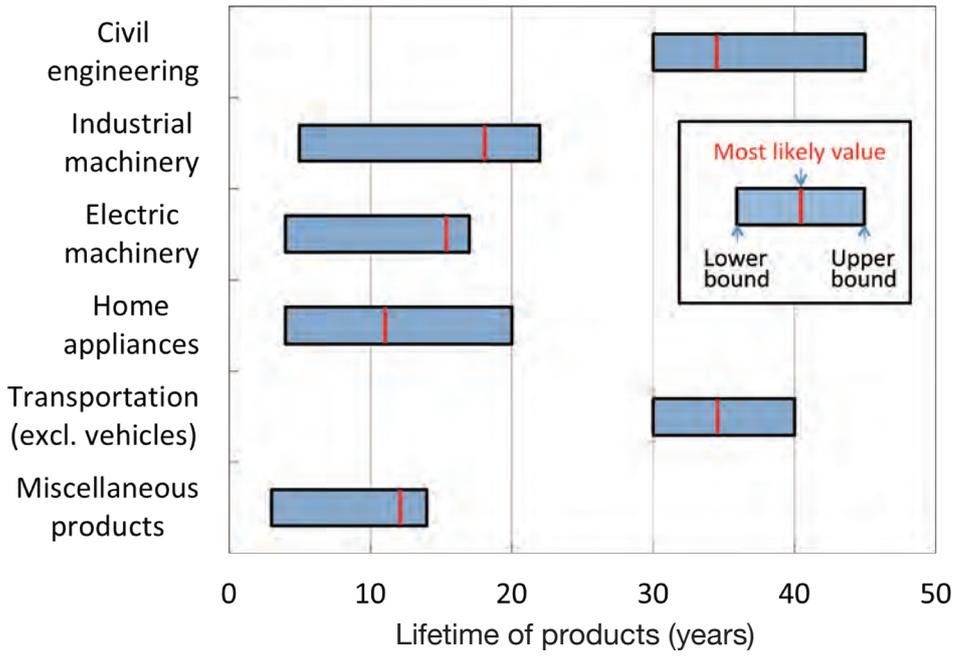


Photo 2 Slit dam as a case of infrastructural stock



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))

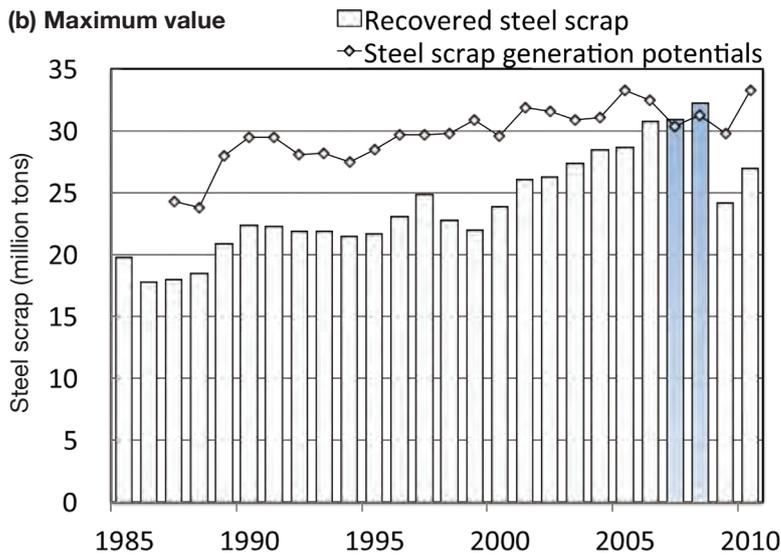
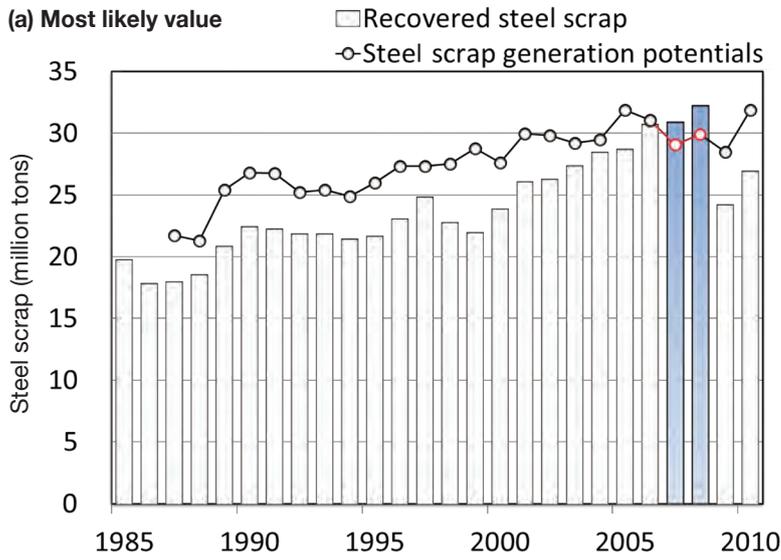


Fig. 5 End-of-life Recycling Rate of Steel in Japan

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

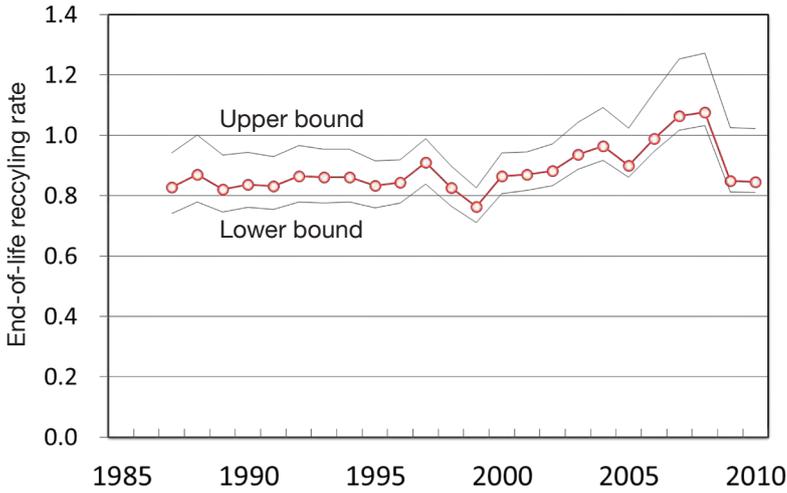


Fig. 6 Amount of Heavy Scrap Recovered by Category relative to its EoL-RR

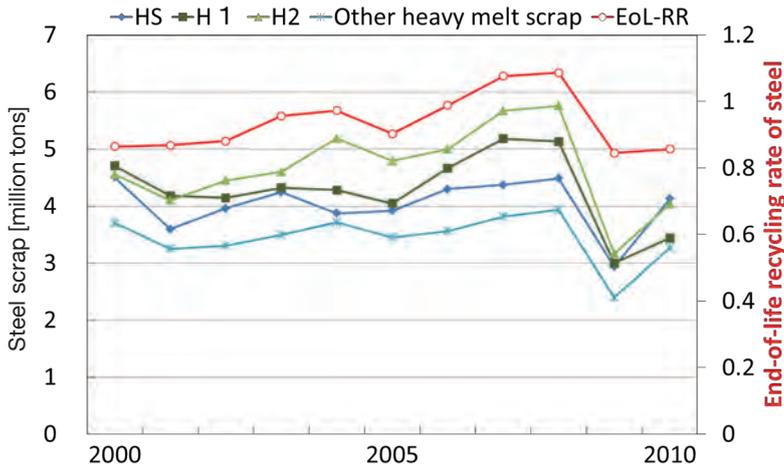
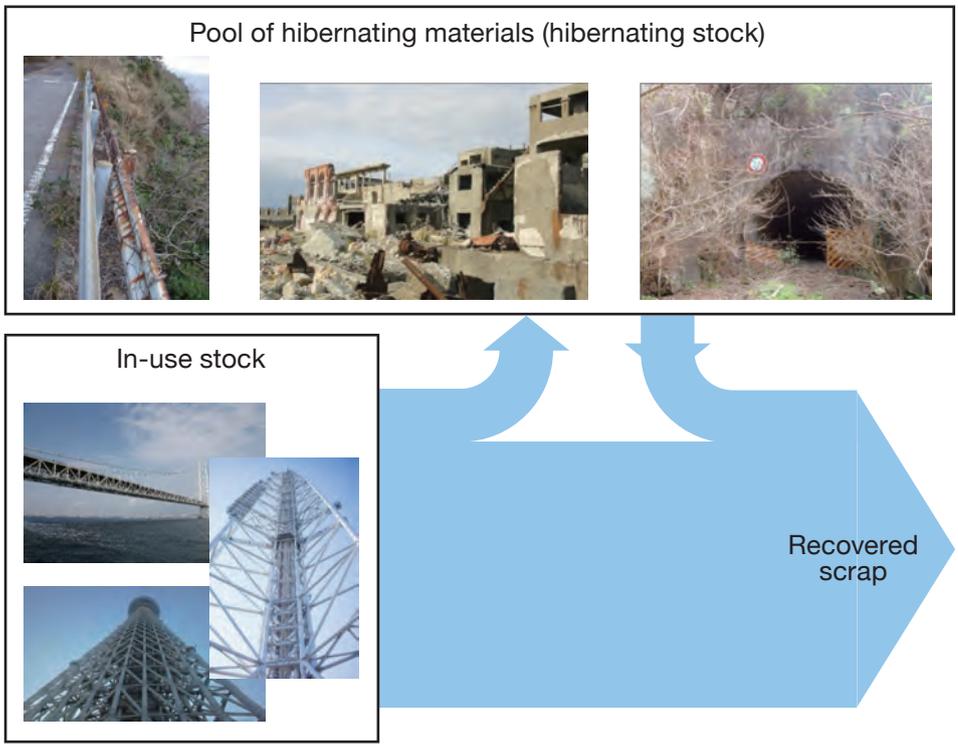


Fig. 7 Schematic Illustration of the Role of Hibernating Stock in Recovery Mechanisms



(13~16 页)

构建环保型社会的建筑用钢材

日本钢铁联盟 建设环境研究会 委员长

北野 新治

“铁”是我们身边最常见的金属，金属产品的90%以上是用“铁”制造的。在日常生活中，由“铁”构成的产品不计其数。此外，我们生活的地球重量的约30%是“铁”，也堪称是最丰富的资源。另外，由于“铁”可被磁化，容易与其他物质分离，因此废弃后也便于回收。

最近，虽然诞生了各种新材料，迎来了材料的多样化时代，然而“铁”的资源丰富，不仅完美地兼备功能性和经济性，而且也是回收利用性出色的材料。

本文介绍生产这种性能优异材料——“铁”的日本钢铁行业开展的地球环保工作以及环保型建筑钢材。

钢铁行业（高炉法、电炉法）与钢铁生产

钢材可分为以铁矿石和煤炭等天然原料为主要原料在高炉-转炉钢铁厂生产的转炉钢、以及以废钢为主要原料在电炉等生产的电炉钢。

作为转炉法，在高炉使用煤炭将铁矿石还原、熔化获得生铁，然后送入转炉吹入氧气冶炼，是制造高级钢材的工艺。另一方面，作为电炉法，对在市面上回收的废钢通过电弧熔解冶炼，是制造特种钢或普通钢的工艺。

钢铁产业根据其地点和产品品种，发挥高炉法和电炉法的各自特点，向市场提供各种产品。(图1)

随着中国和印度等新兴国家的经济发展，全球的钢铁需求在中长期范围不断扩大。世界的粗钢产量至上世纪90年代为止在7亿吨前后徘徊。进入21世纪，随着新兴国家、尤其是中国急速的生产规模扩大，在去年度已增加到16亿吨以上。在这样的变化中，与电炉钢的增加率相比，转炉钢的增加率非常高(图2)。这是由于如果社会资本没有积累到一

定程度，作为电炉钢原料的废钢不会发生，虽然存在从发达国家向发展中国家的国际性流通，但并非是可全部满足发展中国家需求的发生量。因此，仅靠电炉的生产无法满足全球的钢铁需求，高炉的生产不可或缺。

作为电炉，因为通过电力熔解废钢，与采用煤炭还原铁矿石的高炉相比，具有二氧化碳的发生量较少的特点。但是在高炉生产的钢材产品最终将变成废钢，成为电炉的主要原料。如上所述，如果从长期视点考虑这些钢材，可发现形成了一体化的循环体系。所有钢材产品通过这种循环体系进行多次循环利用，在总体上对节省资源和能源作出贡献(图3)。

即使日本国内的钢铁制造工艺从高炉转换到电炉，也不会对地球总体的CO₂减排发挥作用。这是因为从日本出口的废钢减少的部分导致在其他国家的高炉产量增加，相反，由于其他国家能源效率较差的高炉产量增加，导致所谓碳泄漏，使地球总体的二氧化碳排放量增加。

图1 制钢工艺

图2 全球粗钢产量

图3 铁的循环概念

钢铁行业为了防止地球温室化采取的措施

◆通过生产工艺防止地球温室化

日本的钢铁行业积极推进环境保护工作。不仅实现了全球最先进的能源效率，而且还开展副产品的有效利用、大气和水质保护、钢铁厂内的绿化等综合性环保对策。

尤其是对于在钢铁厂内副生的巨大能源，通过各种工序进行回收重新利用。在焦炉、高炉、转炉发生的副产煤气成为其他各种设备的能源。

此外，关于副生煤气以外的能源也同样，采用TRT（高炉煤气余压发电）以及CDQ（干法熄焦设备）等工艺进行回收。目前在日本国内钢铁厂采用的节能相关技术如图4所示。另外如图5所示，随

着持续性改进工作的推进，日本钢铁行业实现了全球最先进的能源效率。

今后，我们仍将进一步开展工作，并将日本采取的措施和取得的经验向全球推广，积极推进国际协作。

图 4 钢铁厂内的节能、节省资源的相关技术

图 5 关于钢铁行业单位能耗的国际水平比较

◆钢材使用阶段的 CO₂ 减排效果

钢材用于各种用途和产品。其中的很多用于大量、高效地运送人员或物资以及能源的有效利用，对温室效应气体的减排作出贡献。

关于 2013 年度当时因采用日本制造的高性能钢材的产品对 CO₂ 减排贡献的推测，日本国内为 976 万吨，出口为 1582 万吨（图 6）。其中节能效果最大的产品是汽车用高强度钢板，汽车的轻量化对改善油耗发挥了作用。船舶用高强度钢板也同样改善了油耗。此外，变压器用取向性电磁钢板降低了电力损耗，锅炉用耐热高强度钢管对提高发电效率作出贡献。

图 6 高性能钢材发挥的节能、CO₂ 减排效果

对保护地球环境作出贡献的建筑用钢材

◆对减轻环境负荷发挥作用的建筑用钢材

通过钢材的高强度化，除了可以减少钢材用量之外，作为建筑用钢材，在减少建筑废材、节省资源以及实现设备的长寿命等各个方面对减轻地球的环境负荷作出贡献。

—减少建筑废材

因为钢材可以回收利用，所以不存在建筑废材，不仅可以削减废弃物的处理成本，而且也可以对延长紧迫的最终处分场地的寿命作出贡献。

—节省资源

钢材便于解体和重新组装，可以反复重新使用，是十分理想的环保型材料。在日本国内，也有将在

某处使用的桥梁移设到其他地点有效利用的事例（图 7）。

—长寿命建筑物

可实现大跨度、不依赖于抗震壁的钢骨结构是适合扩建和改建的建筑物，可灵活应对将来的用途变更，能够成为长寿命的建筑物。

图 7 常磐线 利根川桥梁的重新利用

◆对与自然的协调作出贡献的建筑用钢材

发挥钢材具备的强度和加工性能等特性，我们开发了与自然的协调作出贡献的各种建筑用钢材。作为以自然为对象的建筑施工，与自然的协调和保护自然尤为重要。这些钢材不会明显破坏原有的自然状态，为了保护各种自然状态在默默地发挥作用。此外，在结束了长期发挥的作用之后，这些钢材被再次有效地回收利用。

—透水性钢板桩

采用设有透水孔的钢板桩，可以不影响原有的水循环，形成有利于生态系和环境的钢板桩墙。分析结果表明，如果开孔率为 0.4%（ $\phi 55 \sim \phi 70@1000$ ）左右，能够保证原流量的 80%以上（图 8）。

—设有栽植翼片的钢板桩

将绿化用栽植翼片安装在钢板桩防波堤上保持土壤，形成多年生草本水生植物的培育基础，可避免这种结构性功能的损失，覆盖钢板桩表面实现绿化（图 9）。

—透过型钢制防砂堤堰

透过型堤堰（梳子坝）在发生泥石流或洪水时拦截巨石和流木，使后续的泥沙流向下游，但平时对溪流的流水没有影响，可促进砂砾流动，不妨碍动植物的迁移，因此能够在保留自然状态的同时控制自然灾害的发生。平时不影响泥沙的流动，可防止河床降低以及海岸线后退等，具有保护生态系的效果（图 10）。

—非透过型钢制防砂堤堰

利用在现场发生的土砂、砂砾作为填充材料(生态环保标志认定标准: 70%以上), 可形成不影响生态环境的堤堰。能够大幅度减少废弃物(残留土方的处置), 降低环境负荷(图 11)。

图 8 透水性钢板桩

图 9 设有栽植翼片的钢板桩

图 10 透过型钢制防砂堤堰

图 11 非透过型钢制防砂堤堰

结语

解决地球环境问题对于产业界而言, 未来的重要性将不断增加。今后, 我们不仅继续推进生产过程中的节省资源和节能工作, 而且开发高性能、环保型钢材, 为了防止地球温室化、实现循环型社会贡献力量。

Fig. 1 Iron- and Steelmaking Process

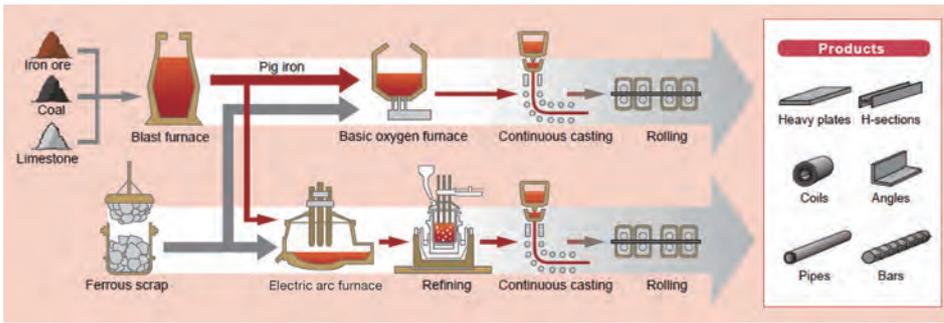


Fig. 2 Crude Steel Production in the World

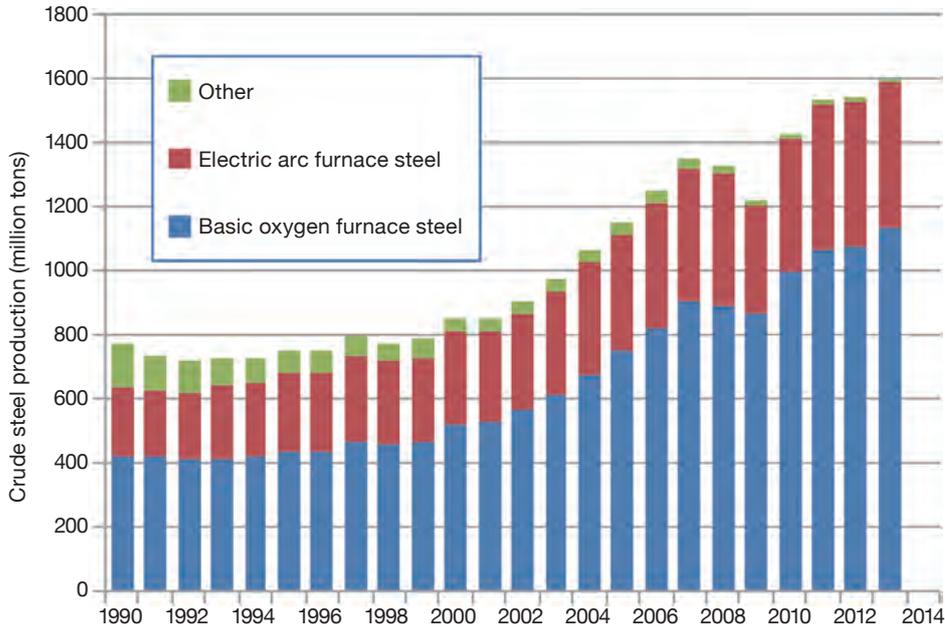
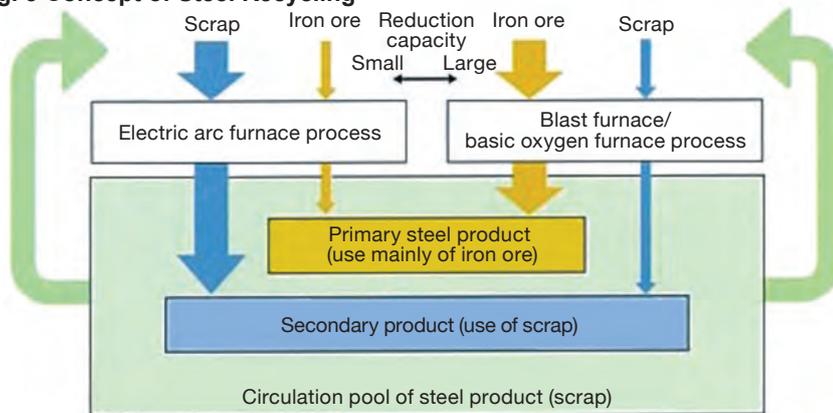
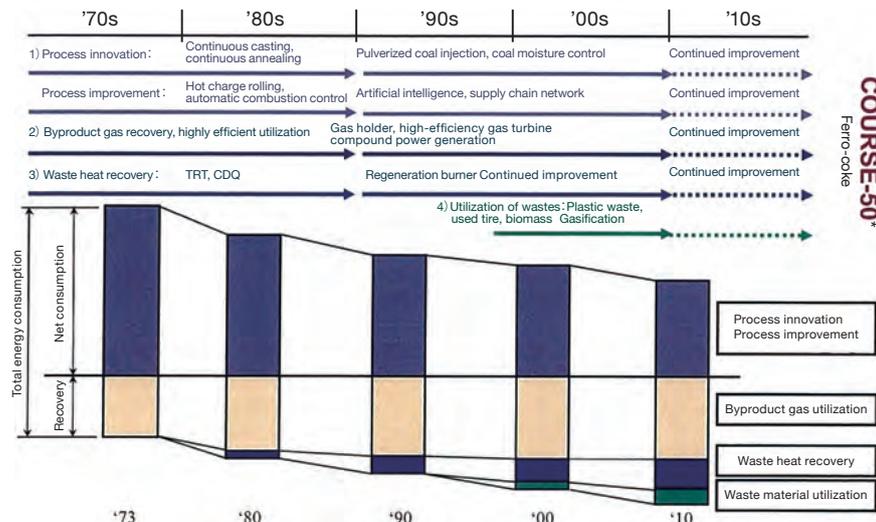


Fig. 3 Concept of Steel Recycling



Source : LCA Methodology Report (worldsteel, 2011)

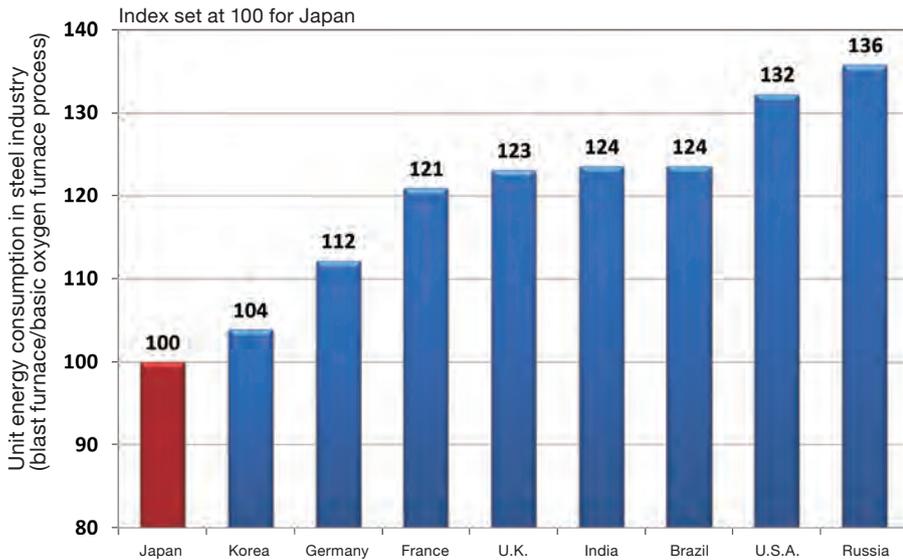
Fig. 4 Major Energy- and Resources-saving Technologies Applied in Steelworks



COURSE-50*
Ferro-coke

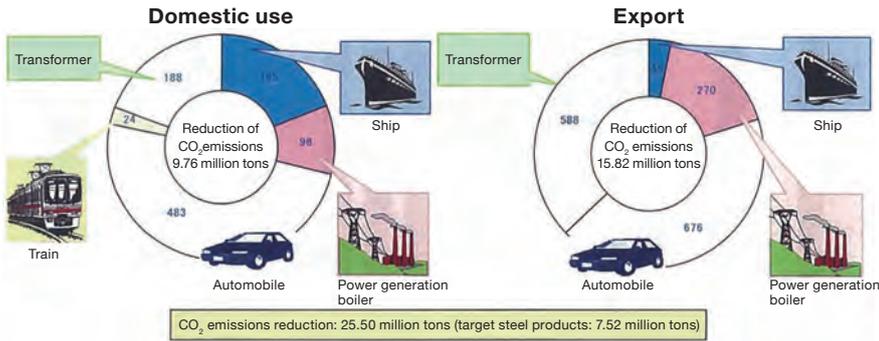
*COURSE-55: Research project on the technology to reduce blast furnace CO2 emissions and to separate/recover CO2 from blast furnace gas
Source: Commitment to a Low-Carbon Society (The Japan Iron and Steel Federation)

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.

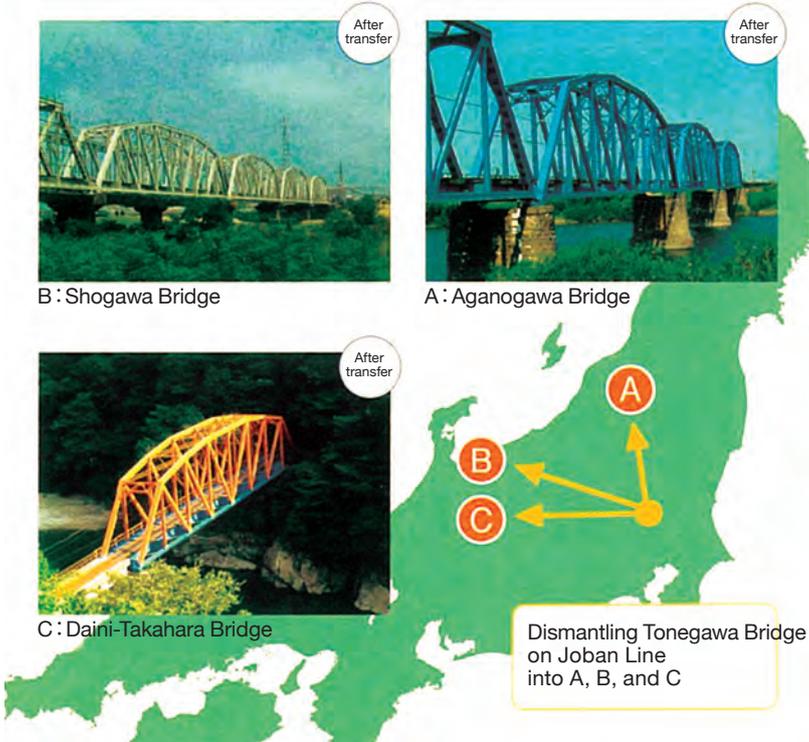


Fig. 8 Water-permeable Steel Piling

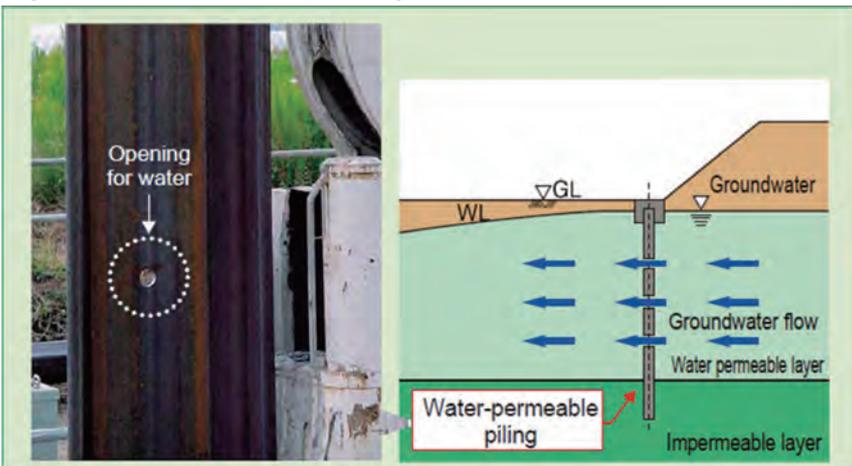


Fig. 9 Steel Pile Embankment Using Planting Fin

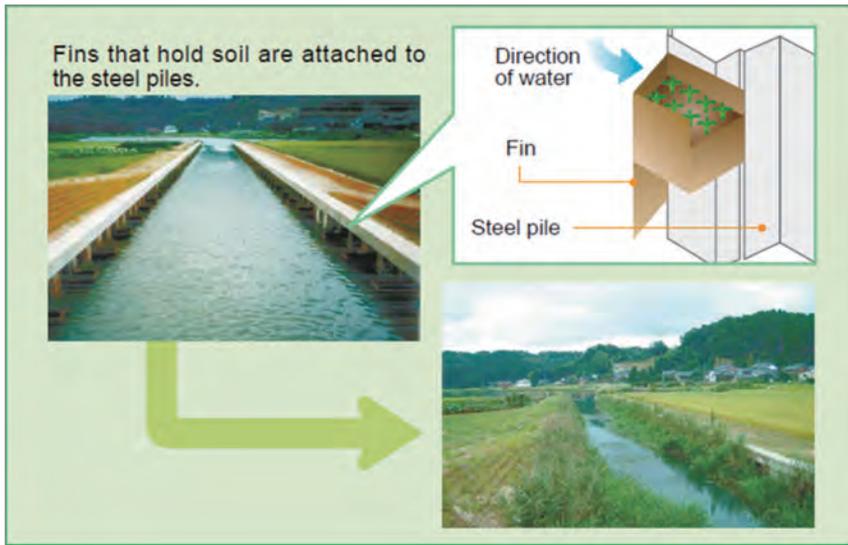


Fig. 10 Water-permeable Steel Dam to Prevent Sand Buildup



Fig. 11 Impermeable Steel Dam to Block Sand



(17~18 页)

日本钢结构建设技术的介绍

我们已在本刊 No.43 期说明过，根据日本国土交通省（Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism）提出的要求，日本钢铁联盟于 2014 年归纳了钢结构建设技术的整套资料。为了便于在海外利用日本的建设技术，该资料对建筑和土木工程两个领域的 27 类钢结构建设技术以及建设用钢材进行了简要介绍。这些内容均登载在日本钢铁联盟的网站上，大家可自由阅览。

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

以下介绍该资料中的 4 项内容。

建筑结构用高强度钢材（SA440、H-SA700）

SA440（抗拉强度 590N/mm² 级钢材）、H-SA700（780N/mm² 级钢材）是为建筑结构用途开发的高强度钢。采用这些高强度钢，可减轻超高层大厦的立柱钢骨等大型、极厚钢骨断面的尺寸，减轻重量。此外，还可有效实现屋顶桁架等重量构件的轻量化。

图 SA440、H-SA700 的各项指标

图 SA440、H-SA700 的重量减少

耐火钢材（FR 钢）

与一般的建筑用钢材相比，耐火钢材是在高温下强度较高的钢材。在 600℃ 时的强度可保证常温规格强度的三分之二以上。如果采用耐火钢材，可减少或省略立体停车场等建筑物的耐火被覆，由此能够实现降低成本、缩短工期以及改善作业环境等。

图 耐火钢材的高温性能

照片 立体停车场的应用例

采用钢材的泥石流对策工艺

采用冲击吸收性能优异的钢管构成透过型结构的堤堰。平时不会阻隔河流，使流水和无害的泥沙

通过，发生泥石流时能够可靠拦截有害物体。

图 透过型结构堤堰的实际应用

桥梁用耐候性钢材

耐候性钢材添加了铜、镍、铬等元素，在表面形成保护性锈层。这种保护性锈层致密均匀，锈蚀的进展速度非常缓慢。因此，无须表面涂装可长期使用，能够降低钢桥的维护成本。

图 耐候性钢桥的生命周期成本

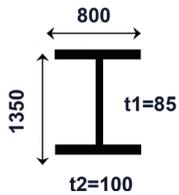
照片 耐候性钢桥

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.

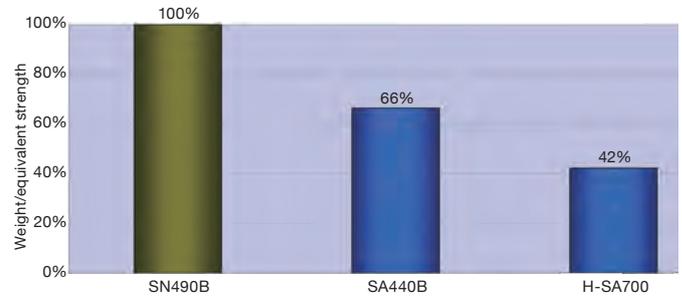
Dimension of Conventional SN490B



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

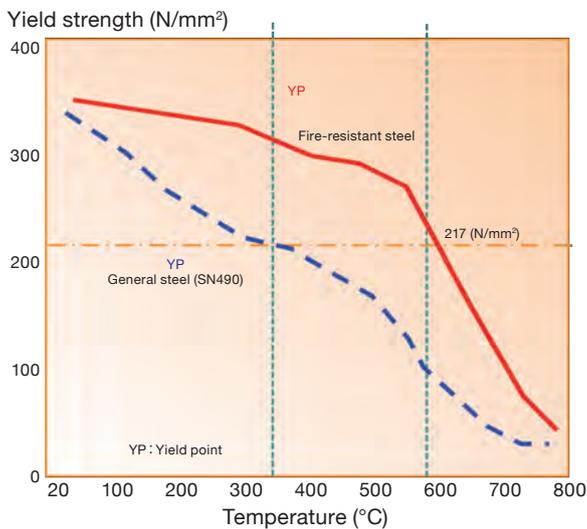


Fire-resistant Steel

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 :



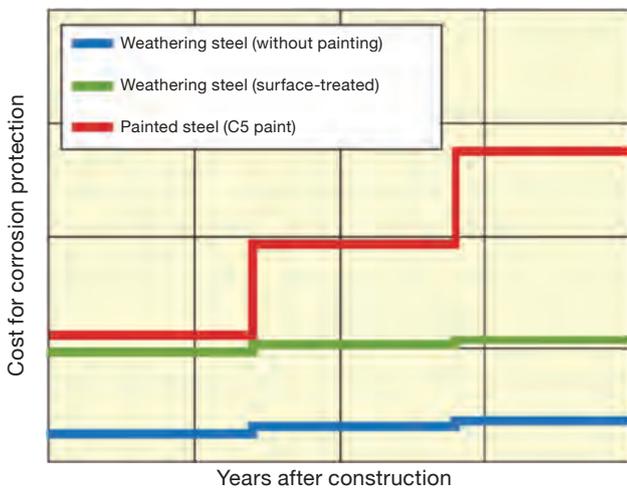
Shift-type structures is designed considering the ecosystem, which does not disrupt river flow.

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)

日本钢铁联盟开展的活动 在泰国举办的两个研讨会

2015年10月,日本钢铁联盟与泰国钢铁协会在曼谷联合举办了两个研讨会。这两个研讨会都是作为日本-泰国经济合作协定的协作事业的一部分策划实施的。

一个是于13日~14日举办的钢桥研讨会,泰国的两名专家和来自日本的两名专家发表了有关桥梁的设计以及桥梁用钢材的演讲。另一个是于15日举办的有关环境与节能的研讨会,来自日本的两名专家发表了演讲。这两个研讨会都有许多人员参加,气氛高涨,场面热烈。

关于日本-泰国的协作事业,此外还有计划在日本举办以泰国的技术人员为对象的钢结构建设研讨会以及研修课程。

照片 研讨会的盛况

实施 SCT&T 读者问卷调查

如本刊已在42期~44期上登载的那样,在2014年8月至2015年6月期间,我们开展了读者问卷调查。以下介绍调查结果的部分内容。以东南亚各国为中心,我们收到了58份问卷调查的回答。在此向提供回答的各位表示衷心感谢。

在回答中有97%的人员表示本刊对他们目前的工作有所帮助。此外,有88%的人员在目前或者以往的工作中有过使用钢结构的经验。在钢结构中使用最多的钢材是结构用型钢。另外,关于没有采用钢结构时的理由,回答“成本高”的最多,其次是“业主单位的意向”。关于今后希望本刊登载的主题,回答“桥梁”的最多,其他较多的还有“建筑”、“高速公路”、“防腐”、“抗震”以及“铁路”等。

我们已决定将本次问卷调查的结果向今后的期刊反映。

Seminar on steel bridges



Mr. Nattapon Ratanamalee (ISIT)



Mr. Nuttapon Suttitam (ISIT)



Mr. Toru Watabiki (JFE Engineering Corporation)



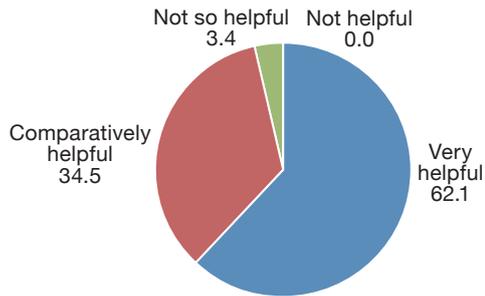
Mr. Hiroyuki Okada (Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation)

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? (%)

