

STEEL CONSTRUCTION TODAY & TOMORROW

(No. 46 Desember 2015)

**Publikasi Bersama Federasi Besi dan Baja Jepang dan
Masyarakat Konstruksi Baja Jepang**

Versi Bahasa Indonesia

Versi Bahasa Inggris *Steel Construction Today & Tomorrow* diterbitkan tiga kali dalam setahun dan disirkulasikan ke seluruh dunia kepada para eksekutif, perusahaan perdagangan industri, dan organisasi administratif yang berminat. Tujuan utama publikasi ini adalah memperkenalkan standar dan spesifikasi mengenai konstruksi baja, contoh-contoh proyek konstruksi mutakhir, teknologi dan material konstruksi mutakhir dan lainnya di bidang konstruksi bangunan dan keteknik-sipil. Agar pembaca Indonesia dapat memahami artikel yang ada, disiapkan versi Bahasa Indonesia yang berisi teks saja, dan dilampirkan pada versi Bahasa Inggris. Terkait foto, ilustrasi dan tabel, pada halaman terakhir tiap artikel dilampirkan versi Bahasa Inggrisnya.

Juga, bila dibutuhkan konfirmasi teknis ataupun rincian yang lebih teknis dari sebuah teks, silakan merujuk ke publikasi versi Bahasa Inggris.

No. 46 Desember 2015: Isi

<i>Fitur Khusus: LCA dan Daur Ulang Produk Baja</i>	
Pemeriksaan LCA untuk Struktur Baja di Bidang Konstruksi	1
Contoh dan Tugas Masa Depan Model LCA di Jepang	2
Metodologi Penilaian LCI untuk Menggabungkan Efek Daur Ulang Produk Baja	5
Stok Material dan Tingkat Daur Ulang Akhir Masa Layan (<i>End-of-life</i>) Baja	9
Produk Konstruksi Baja yang Kondusif untuk Mendukung Masyarakat Ramah Lingkungan	13
Teknologi Konstruksi Baja di Jepang	17
Operasi FBBJ	Sampul Belakang
Halaman mengikuti versi Inggris terbitan No. 46	
Versi Indonesia: ©Federasi Besi dan Baja Jepang 2015	

Federasi Besi dan Baja Jepang
3-2-10 Nihonbashi-Kayabacho, Chuo-ku, Tokyo
103-0025, Jepang
Fax: 81-3-3667-0245 Telpon: 81-3-3669-4815
Alamat email: sunpou@jisf.or.jp
URL <http://www.jisf.or.jp>

Fitur Khusus: LCA dan Daur Ulang Produk Baja

(Halaman 1)

Pemeriksaan LCA untuk Struktur Baja di Bidang Konstruksi

Ketua, Komite Baja Ramah Lingkungan untuk Konstruksi, Federasi Besi dan Baja Jepang

Di Jepang, banyak studi yang sedang dilakukan terkait dengan pemberlakuan LCA (suatu metodologi penilaian dampak lingkungan sebuah produk untuk berbagai tahapan sepanjang masa layannya) dalam sistem lelang proyek-proyek pekerjaan umum dan dalam peraturan *green procurement* (Kesepakatan untuk Mendorong Pembelian Barang dan Jasa Ramah Lingkungan oleh Pemerintah dan Entitas Lainnya)

Sejalan dengan itu, Komite Baja Ramah-lingkungan untuk Konstruksi dari Federasi Besi dan Baja Jepang sudah mengawasi pembuatan metode penilaian yang relevan dengan produk baja dengan kinerja tinggi terkait lingkungan, seperti pertimbangan terhadap mitigasi dampak lingkungan akibat penggunaan rasional metode tanur sembur dan tanur busur listrik dalam proses daur ulang dan akibat penggunaan baja mutu tinggi. Selanjutnya, komite ini juga mendorong aktivitas ke arah aplikasi yang lebih luas daripada produk-produk konstruksi baja ramah lingkungan. Disamping itu, untuk meningkatkan pemahaman lebih akan tingginya kinerja lingkungan struktur baja, komite ini menyelenggarakan “Seminar Baja Hijau” secara tahunan yang ditujukan bagi yang bekerja dalam bidang konstruksi.

Sebagai bagian dari usaha ini, Masyarakat Konstruksi Baja Jepang pada tahun 2010 membentuk “Kelompok Kerja untuk Memeriksa LCS Struktur Baja pada Konstruksi,” yang terdiri dari orang-orang konstruksi ramping, produsen baja dan pengguna baja. Kelompok kerja ini mengumpulkan informasi, mempelajari metodologi LCA dalam bidang konstruksi, dan memeriksa bagaimana menerapkan LCA pada produksi baja. Dalam tahun 2014 kelompok kerja ini mengorganisasikan hasil studinya.

Hasil dari kegiatan kelompok kerja ini dilaporkan pada Seminar Baja Hijau dengan tema “Inisiatif Terkini menuju Perbaikan Infrastruktur Sosial dan Siklus Layan—Pentingnya Daur Ulang Produk Baja dalam Konstruksi.” *Event* ini diselenggarakan oleh Komite Baja Ramah Lingkungan untuk Konstruksi

pada tanggal 27 Nopember 2014 (lihat tabel dan foto di bawah).

Terbitan ini, No 46, memperkenalkan sebagian garis besar hasil kegiatan yang dilaporkan pada Seminar Baja Hijau; dan sekaligus juga, menggambarkan inisiatif ke arah pelestarian lingkungan global yang dicanangkan oleh industri baja Jepang.

Daftar Tema Kuliah dan Pemakalah pada Seminar Baja Hijau ke 4.

Foto: Seminar Baja Hijau Keempat yang diselenggarakan pada bulan Nopember 2014

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

(Halaman 2~4)

Contoh dan Tugas Masa Depan Model LCA di Jepang

oleh Matsunori Nara, Dr. Eng.

Profesor, Departemen Teknik Komputer dan Media Engineering, Universitas Sains Tokyo, Suwa

Sekilas LCA

Standarisasi penilaian siklus layanan (*life cycle assessment*, LCA, atau penilaian dampak lingkungan suatu produk pada berbagai tahap masa layanan) dimulai pada tahun 1993 pada Organisasi Standarisasi Internasional (ISO). Pada tahun 1997, ISO menerbitkan: ISO14040: Prinsip dan Kerangka Kerja LCA, ISO14041: Tujuan dan Lingkup Definisi dan Analisis Inventori dan 14049: Contoh Bagaimana Menerapkan ISO14041.

Di Jepang, Masyarakat Penilai Siklus Layanan Jepang, suatu organisasi gabungan industri-publik-akademik, dibentuk pada tahun 1995 untuk mendorong studi LCA. Pada tahun 2007, Masyarakat Konstruksi Baja Jepang menginisiasi studi LCA untuk produk baja dan struktur baja. Dipicu oleh pembentukan Kesepakatan untuk Mendorong Pembelian Barang dan Jasa Ramah Lingkungan oleh Pemerintah dan Entitas Lainnya (Kementerian Lingkungan) pada tahun 2009, Kementerian Pertanian, Infrastruktur, Transport dan Pariwisata (MLIT) mulai memeriksa LCA untuk pekerjaan umum. Saat ini, bersamaan dengan berbagai studi teoritis dan studi kasus mengenai LCA, berbagai usaha juga dilakukan untuk inventori data.

Dalam industri konstruksi berlaku sistem multi-lapis dalam suatu proyek pembangunan yang melibatkan berbagai perusahaan sehingga menimbulkan kesulitan dalam inventori data. Akan tetapi, masalah ini dapat diselesaikan melalui riset bersama antara Institut Manajemen Pertanian dan Infrastruktur MLIT dengan Masyarakat Teknik Sipil Jepang; dan hasilnya, sekarang dimungkinkan melakukan analisis inventori (LCI: *Life cycle inventory*) bahkan untuk proyek pekerjaan umum. LCI merupakan data inventori jenis hibrida yang dipersiapkan dengan kombinasi tabel input output (matrik produksi dan transaksi industri) dan data akumulasi; dan dapat diaplikasikan dalam implementasi LCA untuk material, metode dan struktur konstruksi dengan menetapkan emisi CO₂ dan belanja sebagai parameter penilaian.

Kewajiban dalam LCA yang Relevan dengan Daur Ulang Baja

Penerapan LCA di bidang konstruksi masih menyisakan kesulitan. Beberapa isu terkait adalah keterbatasan rentang LCA dalam tahapan masa layanan operasi konstruksi dan produksi material; penentuan parameter CO₂ sebagai prioritas dan kurangnya penilaian terhadap dampak lingkungan lainnya (terkait kompensasi, parameter gabungan, dll.); dan efek yang tidak dikuatifikasi akibat daur ulang berulang daripada produk baja dan material lainnya.

Barangkali hal yang wajar diperkirakan bahwa produk baja, setelah berakhir masa layannya, akan menjadi kepingan (*scrap*) dan kemudian di daur ulang berulang kali. Akan tetapi, berkebalikan dengan kinerja material lainnya, karakteristik guna-ulang—yang mengurangi dampak lingkungan—hanya khas untuk baja dan penting disebutkan. Dengan kata lain, kebanyakan material lain didaur ulang secara menurun, baja dan material logam lainnya dapat didaur ulang secara horizontal.

Keuntungan lain dari daur ulang baja dibandingkan dengan produk lainnya adalah bahwa baja dapat dipisahkan dari material lain dengan menggunakan magnet dalam prosesnya. Apabila logam selain baja yang digunakan dengan logam atau material lainnya, sering sulit dilakukan pemisahan dan ada kasus-kasus dimana daur ulang tidak berlangsung dengan baik.

Dalam bidang konstruksi, produk baja digunakan terpisah dalam struktur rangka baja dan sering digunakan bersama dengan beton dalam struktur beton bertulang (RC). Akan tetapi, bahkan dalam struktur RC, baja dan beton sekarang dapat mudah dipisahkan dan dipilah setelah masa layanan selesai. Dibandingkan dengan material logam lainnya, baja dikenal mudah didaur ulang.

Sekalipun demikian, saat ini belum ada metode pasti untuk menilai dengan tepat keunggulan karakteristik produk baja terkait lingkungan—yaitu, bahwa baja merupakan material yang sangat dapat didaur ulang sehingga dapat dilakukan berulang kali. Eco Mark dan program pelabelan lingkungan, serta Kesepakatan untuk Mendorong Pembelian Barang dan Jasa Ramah Lingkungan, mendukung penyediaan barang dan jasa dengan cara melakukan penilaian efek lingkungan dengan benar dengan tujuan menciptakan masyarakat yang menimbulkan dampak lingkungan minimum.

Akan tetapi, teknik penilaian dampak lingkungan yang saat ini digunakan tidak dapat menilai efek yang dihasilkan dari proses daur ulang berulang. Teknik saat ini tidak dapat membedakan antara kinerja lingkungan

material yang hanya dapat didaur ulang sekali dengan yang dapat didaur ulang berulang kali. Secara umum mungkin mengerti bahwa, dengan berulang kali didaur ulang maka akan terjadi peningkatan efek penghematan sumber daya dan dampak lingkungan akan menjadi lebih kecil. Dalam hal ini, diharapkan bahwa teknik penilaian dampak lingkungan di masa depan akan dapat dikembangkan dengan mempertimbangkan baik kemudahan maupun perulangan daur ulangnya.

Di sisi lain, untuk meningkatkan kinerja lingkungan yang tinggi bagi produk baja, kiranya penting mengumpulkan data untuk memastikan hebatnya kemampuan daur ulang produk baja sehingga akan timbul kesadaran sosial terkait aspek baja ini. Proses pembuatan besi dan baja oleh industri baja Jepang dikenal dunia merupakan proses yang menghasilkan dampak lingkungan yang rendah. Akan tetapi, ini tidak berarti tidak diperlukan usaha lainnya untuk mengurangi dampak lingkungan telah selesai, karena masih banyak ruang untuk pengembangan selanjutnya.

Salah satu cara yang efektif adalah dengan mengusahakan produksi baja emisi-nol yang menyerap lebih sedikit sumber daya dan energi, memperbaiki air limbah dan pemurnian gas buang, dan menghasilkan limbah lebih sedikit. Sementara itu, konsumsi sumber daya dan energi tidak-terbarukan (dapat habis) tidak selalu terkait langsung dengan peningkatan dampak lingkungan ataupun menurunnya tingkat keberlanjutan; ada kasus-kasus dimana terlihat penggunaan yang tepat akan sumberdaya yang dapat habis dapat mengurangi konsekuensi lingkungan global.

Studi Kasus LCA dalam Konstruksi Jembatan

Sebuah studi kasus LCA dilakukan di Jembatan Showa lama, sebuah jembatan jalan raya yang dibangun dimana Rute Nasional 122 membentangi Sungai Tone. LCA dilaksanakan berdasarkan reknik seperti yang dilaporkan dalam “Pengembangan Teknologi Penilaian Dampak Lingkungan untuk Siklus Layan Infrastruktur Sosial” oleh Institut Nasional Manajemen Pertanahan dan Infrastruktur (NILIM) dari Kementerian Pertanahan, Infrastruktur, Transport dan Pariwisata. Tujuan utama studi ini adalah untuk melakukan penilaian siklus layan suatu struktur aktual dengan menggunakan teknik NILIM dan membandingkan emisi CO₂ pada berbagai tahapan selama masa layan jembatan baja.

Perhitungan uji coba emisis CO₂ dilakukan untuk dua kasus siklus layan: siklus layan menurut sejarah perbaikan jembatan aktual (kasus 1) dan siklus layan

virtual yang merefleksikan kebutuhan sosial dan tingkat teknologi terkini (kasus 2). Dalam kasus 1, emisi CO₂ dihitung berdasarkan periode layan aktual (44 tahun) Jembatan Showa. Pada kasus 2, emisi CO₂ dihitung dengan asumsi konstruksi jembatan serupa dengan model jembatan lama dan ditentukan target masa layan 200 tahun (dibangun kembali 100 tahun setelah konstruksi). Gbr. 1 menunjukkan emisi CO₂ untuk siklus layan kasus 1, dan Gbr. 2 untuk siklus layan kasus 2.

Perbandingan emisi CO₂ pada tiap tahap layan jembatan baja menunjukkan bahwa emisi total pada kedua tahap disain/konstruksi dan tahap penghancuran/pemulihan menyumbang lebih dari 90% emisi total selama masa layan pada kedua kasus—menunjukkan bahwa pengambilan keputusan terkait pilihan jenis material dan metode konstruksi sangat mempengaruhi hasil LCA. Demikian juga halnya, karena emisi CO₂ pada tahap pemeliharaan dalam kedua kasus ternyata minimal, emisi CO₂ pada tahap penghancuran/pemulihan sama dengan 25% emisi pada tahanan disain/konstruksi, sehingga jelaslah bahwa tahap penghancuran/pemulihan menimbulkan dampak lingkungan yang besar.

Untuk mengurangi CO₂ yang dihasilkan selama masa layan sebuah struktur, maka perlu dipertimbangkan tidak hanya pengurangan dampak lingkungan yang diakibatkan oleh produksi material yang digunakan, tetapi juga untuk kemudahan pemulihan member struktural selama penghancuran dan untuk kemungkinan pendauran-ulang material setelah pemulihan.

Arah LCA di Masa Depan

Di masa depan diperkirakan bahwa kinerja lingkungan dari material akan dinilai berdasarkan “keberlanjutan.” Dasar penilaian keberlanjutan ini akan mempertimbangkan penggunaan sumber daya tak-terbarukan dan material langka, dan perencanaan jangka panjang akan memasukkan pertimbangan berragam pembangkit dan peramalan terkait perubahan lingkungan di masa depan. Demikian juga, kinerja lingkungan produk baja akan dinilai dengan pertimbangan berbagai faktor tersebut.

Di samping itu, aspek kinerja ekonomis produk perlu dinilai. Di pasar, sebuah produk diharapkan tidak hanya menawarkan kinerja lingkungan yang tinggi tetapi juga keuntungan ekonomis seperti pengurangan produk eksternal dan internal yang tidak ekonomis. Dalam hal kinerja ekonomis, kinerja lingkungan secara

ekonomis sebuah produk dapat dinilai dengan menggunakan *material flow cost analysis* (MFCA) yang bertujuan mengurangi kebutuhan material internal yang tidak ekonomis seperti limbah yang kemudian disebut sebagai produk negatif.

Sebagaimana dinyatakan sebelumnya, untuk menilai dampak lingkungan dengan strategis, disyaratkan bahwa proses operasi bisnis harus transparan, bahwa hasil penilaian ilmiah dan mudah dipahami siapapun, dan bahwa harus mencerminkan pendapat semua orang. Dilihat dari sisi lebih mudahnya memahami dampak lingkungan, LCA bersifat efektif dan kuantifikasi kinerja lingkungannya membuatnya mudah dipahami. Lebih dari itu, karena mencakup keseluruhan siklus layanan produk, MFCA dapat juga digunakan untuk memasukkan kinerja ekonomis produk ke dalam sistem ekonomi.

Oleh karenanya, selama berkaitan dengan produk baja, kinerjanya harus dapat dijelaskan dengan ekonomi LCA. Lebih spesifik lagi, tingginya kinerja lingkungan produk baja perlu dipertegas dengan keuntungan yang unik: kemungkinan daur ulang berulang dan penurunan biaya. Untuk mencapai tujuan ini, penting kiranya untuk menciptakan teknik LCA yang dapat menilai dengan tepat kinerja lingkungan produk baja, untuk memperoleh konsensus sosial dengan standarisasi teknik dalam JIS dan ISO dan, secara bersamaan, untuk terus mendorong dilakukannya studi mengenai penggunaan teknik-teknik ini secara efektif.

Gbr. 1 Emisi CO₂ dalam Siklus Layanan 44-tahun pada Jembatan Showa Lama (Kasus 1)

Gbr. 2 Emisi CO₂ dalam Siklus Layanan 200-tahun pada Jembatan Model (Case 2)

Gbr. 3 Saling Berkebalikan terhadap Lingkungan, Biaya dan Masyarakat

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

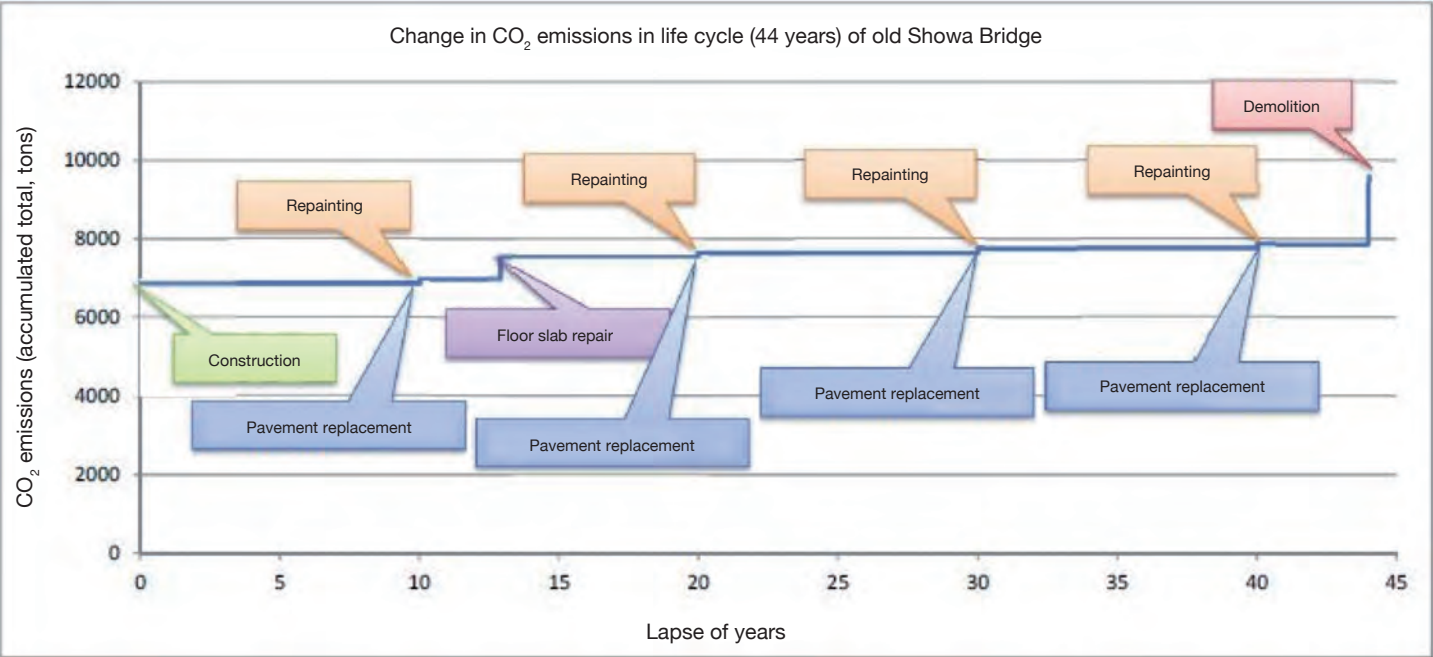


Fig. 2 CO₂ Emissions in 200-year Life Cycle at Model Bridge (Case 2)

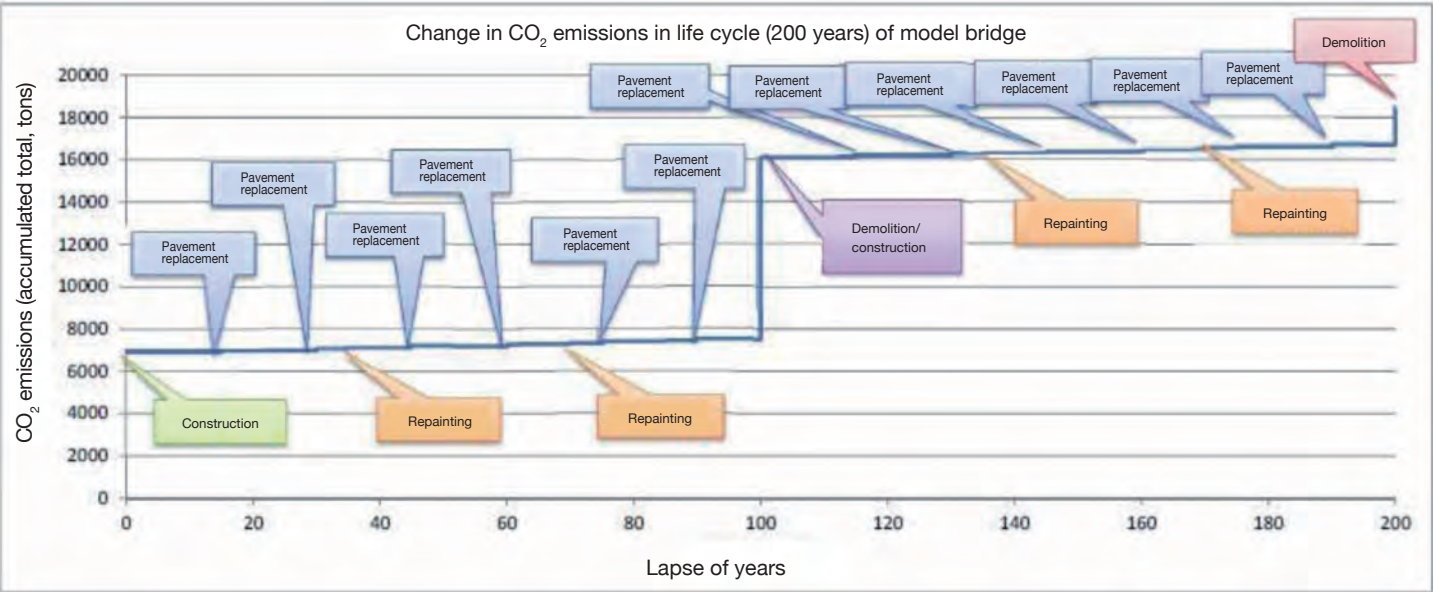


Fig. 3 Ratio and Tonnage of CO₂ Emissions in 44-year Life Cycle by Life Stage at Old Showa Bridge (Case 1)

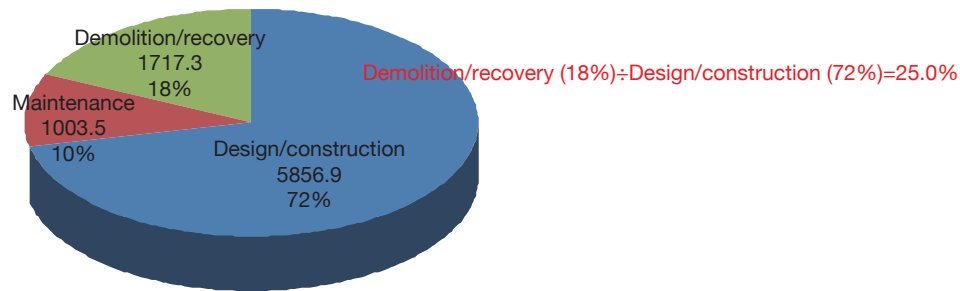


Fig. 4 Ratio and Tonnage of CO₂ Emissions in 200-year Life Cycle by Life Stage at Model Bridge (Case 2)

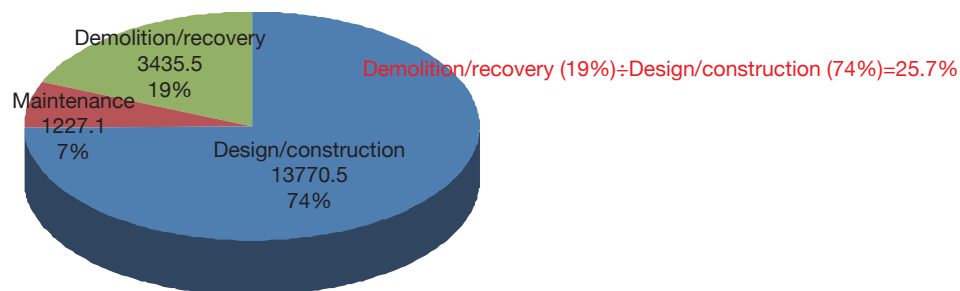
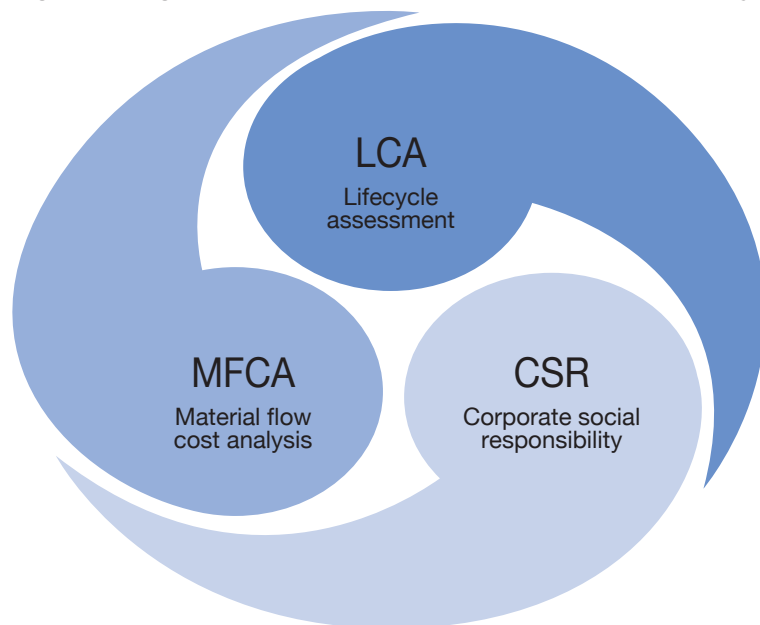


Fig. 5 Striking a Balance between Environment, Cost and Society



(Halaman 5~8)

Metodologi Penilaian LCI untuk Menggabungkan Efek Daur Ulang Produk Baja

oleh Tomohisa Hirakawa

Wakil Ketua, Komite Baja Ramah Lingkungan untuk Konstruksi, Federasi Besi dan Baja Jepang

Metode untuk menghitung emisi CO₂ produk baja yang diperkenalkan dalam artikel ini adalah berdasarkan metodologi yang diusulkan oleh Asosiasi Baja Dunia (*worldsteel*) [Lihat: “*worldsteel* (2011)¹⁾: LCI (*Life cycle inventory*) *assessment methodology*”]. Metodologi ini membedakan antara dua jenis sistem daur ulang: daur ulang terbuka dan daur ulang tertutup (*horizontal*).

Daur ulang terbuka mengacu pada sistem daur ulang dimana material yang dipulihkan didaur ulang untuk menghasilkan produk jenis lain ataupun pada sistem daur ulang (*daur ulang cascade* dan *daur ulang thermal*) dimana properti fisis khusus materialnya dirubah. Sebaliknya, daur ulang tertutup menunjukkan sistem daur ulang dimana properti fisis produk yang didaur ulang tidak berubah dan produk tersebut dapat digunakan kembali untuk aplikasi yang sama.

Sebagai contoh, member struktural baja seperti rangka baja dan batang tulangan dapat didaur ulang dan diproduksi ulang menjadi produk baja yang baru. Properti fisis dasar daripada produk daur ulang ini tidak menunjukkan perubahan dan produknya sendiri dapat digunakan lagi untuk aplikasi yang sama. Oleh karenanya, dapat dikatakan bahwa produk baja dapat diperbaiki dengan daur ulang *horizontal*. (lihat Tabel 1).

Nilai material yang digunakan untuk menghasilkan produk baja yang cocok untuk daur ulang *horizontal* tidak pernah turun, bahkan ketika material akan didaur ulang berulang. Dan, karena selalu beredar di masyarakat, material ini tidak pernah dibuang dan tidak pernah menjadi limbah. Gbr. 1 menunjukkan kondisi produk baja yang beredar di Jepang.

Konsep Penilaian LCI yang Mempertimbangkan Efek Daur Ulang

Dari antara berbagai pendekatan yang digunakan dalam metodologi penilaian dengan LCI, *worldsteel* mengusulkan suatu metodologi berdasarkan “Pendekatan Akhir-masa-layan (*End-of-Life*, *EoL*).” Pendekatana ini, dengan asumsi bahwa produk baja sesuai untuk daur ulang *horizontal*, emisi gas rumah

kaca yang dihasilkan dari produksi produk baja didistribusi ulang ke produk generasi berikutnya dan dengan demikian meminimalkan dampak lingkungan pada tahap produksi. Dalam hal ini, ketika menilai dampak lingkungan produk baja, pendekatan komprehensiflah yang akan menghilangkan perbedaan antara produk yang dihasilkan dengan pelelehan bijih besi (produk tanur sembur) dengan produk yang dihasilkan dengan pelelehan *scrap* (produk tanur busur listrik). Gbr. 2 menunjukkan konsep pendekatan komprehensif *worldsteel*.

Hubungan antara Metode Tanur Sembur dengan Metode Tanur Busur Listrik dan Produksi Produk Besi dan Baja

Dalam pembuatan baja terdapat dua metode yang digunakan: metode tanur sembur (*blast furnace*, *BF*) dan metode tanur busur listrik (*electric arc furnace*, *EAF*). Metode *BF* mengacu pada proses dimana pig *iron* (cairan besi) yang dihasilkan dalam tanur sembur, dengan menggunakan bijih besi sebagai bahan mentah, kemudian diolah di dalam tanur oksigen dasar (*basic oxygen furnace*, *BOF*) untuk kemudian menghasilkan baja. Metode *EAF* mengacu pada proses dimana material baja bekas dilelehkan kembali di dalam tanur busur listrik untuk menghasilkan produk baja, atau proses dimana baja *scrap* dikonversi menjadi baja yang diperbaharui di dalam tanur busur listrik.

Gbr. 3 menunjukkan hubungan antara metode *BF* dengan metode *EAF*. Seperti terlihat dalam gambar, bijih besi bukanlah satu-satunya material yang digunakan sebagai material mentah dalam metode *BF*, dan material yang digunakan dalam metode *EAF* tidak terbatas pada baja *scrap*. Sebagai contoh, dalam metode *BF* umum digunakan baja *scrap* (hingga sekitar 10-20% total material mentah sebagai sumber besi), dan ada beberapa kasus dimana besi yang digunakan sebagai sumber material dalam metode *EAF* dikurangi (lihat Gbr. 3). Dengan demikian, dapat dipahami bahwa baik metode *BF* maupun *EAF* keduanya dapat digunakan secara rasional untuk menghasilkan produk besi dan baja.

Metode Penghitungan untuk LCI_{EoL} yang Mempertimbangkan Efek Daur Ulang

• LCI *Scrap* Eksternal

Penghitungan LCI_{EoL}, LCI dari *scrap* eksternal (*scrap LCI*) digambarkan seperti pernyataan: Y kg produk baja dihasilkan dari 1 kg *scrap* eksternal dengan metode *EAF*, dan LCI *scrap* ini menggantikan

Y kg setara LCI produk baja yang dihasilkan dengan metode BF.” Y menunjukkan efisiensi produksi (produk) pada tahapan dimana produk baja dihasilkan dengan metode EAF. Bila LCI produk baja yang dihasilkan dengan metode EAF (asumsi nilai teoritis 100% penggunaan *scrap* eksternal) dinyatakan sebagai Xre, dan LCI produk baja dengan metode BF (asumsi nilai teoritis 0% penggunaan *scrap* eksternal) dinyatakan sebagai Xpr, maka LCI *scrap* dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$LCI_{scrap} = Xpr \cdot Y - Xre \cdot Y = (Xpr - Xre) \cdot Y \quad \text{--- ①}$$

• Persamaan Perhitungan LCI_{EoL}

LCI_{EoL} produk baja dapat dinyatakan sebagai LCI total yang diperoleh dengan mengurangi LCI *scrap*—sesuai dengan *recovery rate* (RR) *scrap* eksternal—dari LCI produk baja (X) tanpa memasukkan efisiensi daur ulang, dan kemudian menambahkan (distribusi ulang) LCI *scrap*—sesuai dengan rasio aplikasi *scrap* (S)—selama produksi produk baja. Berdasarkan hal tersebut di atas, diperoleh persamaan berikut. Definisi tiap elemen yang digunakan dalam persamaan di bawah digambarkan dalam Tabel 2.

$$LCI_{EoL} = X - RR \cdot Scrap\ LCI + S \cdot Scrap\ LCI \quad \text{--- ②}$$

Dari ①, karena $scrap\ LCI = (Xpr - Xre) \cdot Y$:

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

• Contoh Perhitungan LCI_{EoL}

Diasumsikan sebuah kasus pelat baja biasa dimana dilakukan perhitungan LCI_{EoL} pelat baja dengan asumsi nilai seperti pada Tabel 3 untuk tiap elemen yang digunakan dalam persamaan LCI_{EoL} di atas. Hasilnya, diperoleh LCI_{EoL} mencapai 0.76 (kg-CO₂/kg). Bila dibandingkan dengan LCI (X) yang tidak memperhitungkan efek daur ulang, sementara LCI_{EoL} dalam gambar BF menurun: 0.76/1.97→terdapat penurunan sebesar 62%, maka dalam gambar EAF terdapat peningkatan: 0.76/0.66→terdapat peningkatan sebesar 62%. Hasil perhitungan ini dapat diakibatkan oleh kenyataan bahwa, terlepas apakah produk BF atau EAF yang disertakan, dampak lingkungan dapat ditekan dengan sedikit distribusi ulang emisi gas rumah kaca yang dihasilkan oleh produksi produk-produk generasi berikutnya yang pada awalnya dihasilkan dari bijih besi.

Perhitungan LCI yang Sepenuhnya Mempertimbangkan Potensi Daun Ulang Produk

Baja

Dalam bidang teknik sipil dan konstruksi bangunan, pendekatan utama dalam perhitungan LCI yang saat ini digunakan adalah menilai dampak lingkungan akibat produk baja hanya dari tahapan pembelian dan produksi material mentah dan hingga saat pengiriman (*Cradle to Gate*), yang berdasarkan pada batasan tahapan layan seperti pada Gbr. 4. Karena pendekatan ini tidak menilai LCI pada keseluruhan masa layan produk baja, penting kiranya untuk menerapkan pendekatan yang mempertimbangkan efek daur ulang (akhir daur ulang, dll.)

Saat ini, Federasi Besi dan Baja Jepang bersama dengan Asosiasi Baja Dunia, sedang mendorong dimasukkannya pendekatan di atas dalam perhitungan LCI yang mempertimbangkan efek daur ulang ke dalam standar ISO. Lebih jauh lagi, sejalan dengan pendekatan dalam perhitungan LCI ini, kami memperkenalkan perhitungan nilai LCI untuk produk baja khusus berdasarkan data produksi yang dikumpulkan oleh berbagai perusahaan yang berpartisipasi dan menggunakan pendekatan perhitungan LCI ini. Nilai LCI khusus yang dihitung untuk tiap produk ditargetkan akan dirilis pada bulan Maret 2016.

Kami bersyukur apabila artikel ini terbukti membantu meningkatkan pemahaman akan tingginya dan uniknya potensi daur ulang produk baja dan akan perhitungan LCI yang sepenuhnya mempertimbangkan potensi daur ulang yang tinggi ini.

Table 1 Perbedaan dalam Daun Ulang menurut Material
Gbr. 1 Sirkulasi Produk Besi dan Baja di Jepang (FY2010)

Gbr. 2 Konsep *End-of-Life Approach* (worldsteel 2011)

Gbr. 3 Hubungan antara Metode Tanur Sembur dengan Metode Tanur Busur Listrik

Tabel 2 Definisi Elemen-Elemen dalam Persamaan LCI_{EoL}

Tabel 3 Contoh Perhitungan Uji Coba untuk LCI_{EoL}

Gbr. 4 Batas Sistem untuk Perhitungan LCI Produk Baja

(Judul Foto)

Hampir seluruh produk baja yang digunakan dalam tujuan ini diperoleh dalam bentuk *scrap*, yang kemudian digunakan untuk membuat produk baja yang diperbaharui.

Dalam proses daur ulang, produk baja dengan mudah

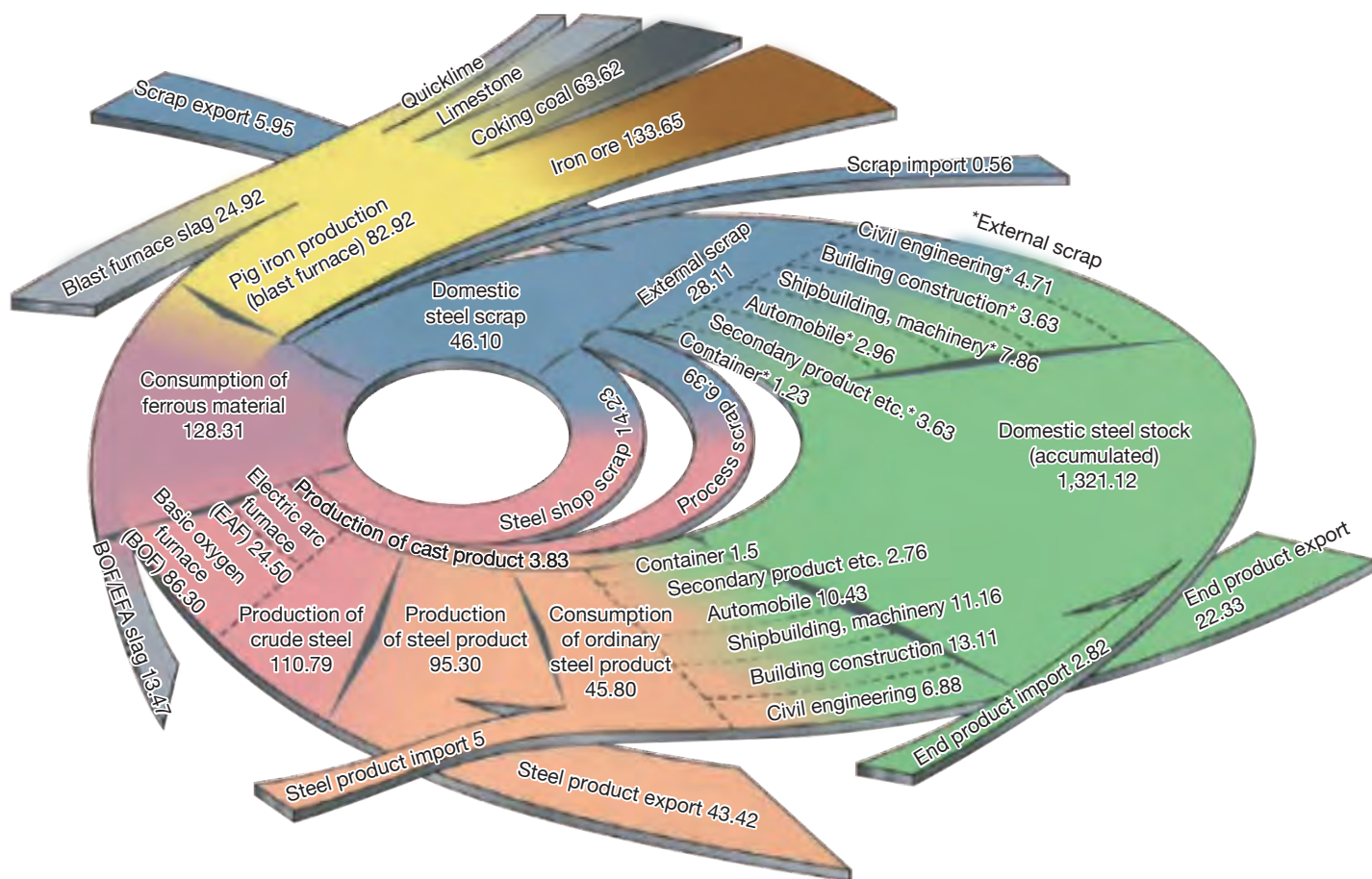
dipulihkan dengan menggunakan gaya magnet dalam bentuk *scrap*, yang kemudian digunakan kembali sebagai material dengan pembuatan baja dengan tanur busur listrik.

Seluruh baja *scrap* (produk baja bekas yang dipulihkan) digunakan kembali dengan efektif sebagai material dalam proses pembuatan besi dan baja

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)

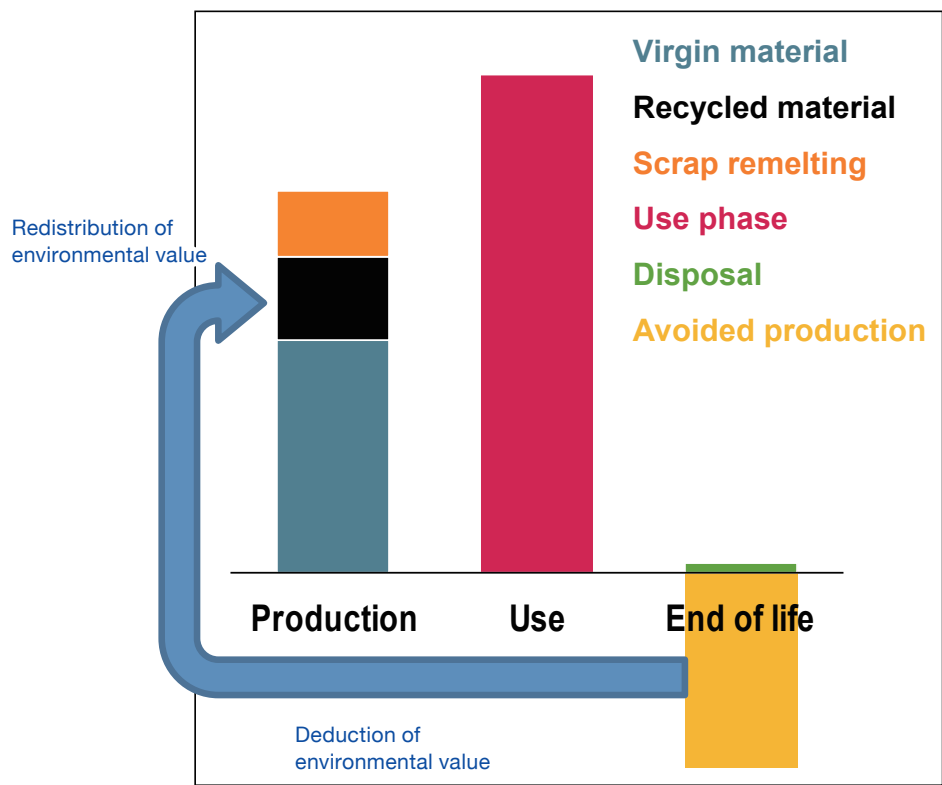


Fig. 3 Relation between Blast Furnace Method and Electric Arc Furnace Method

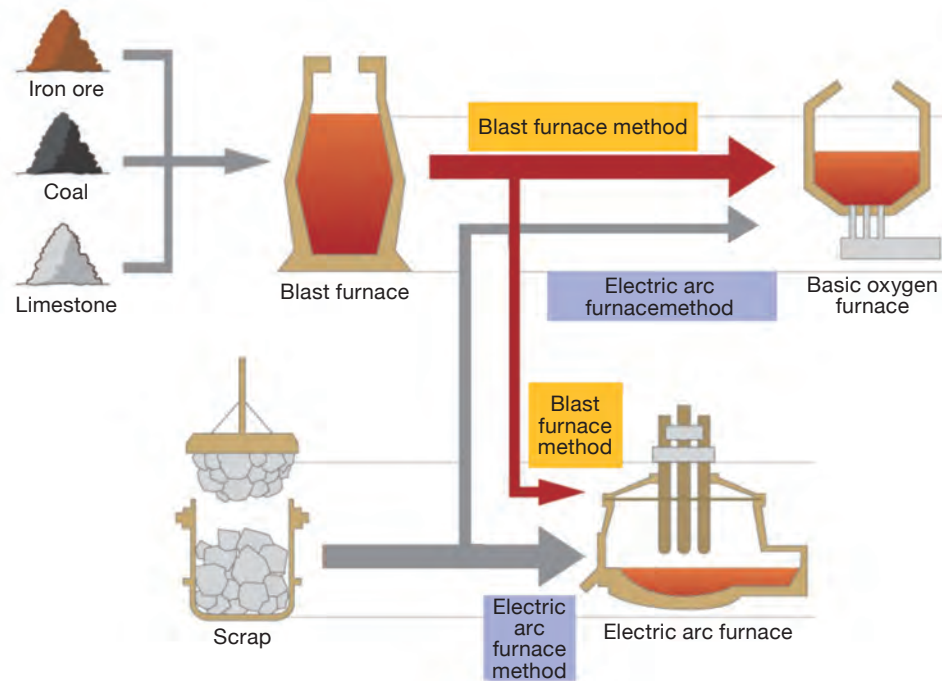


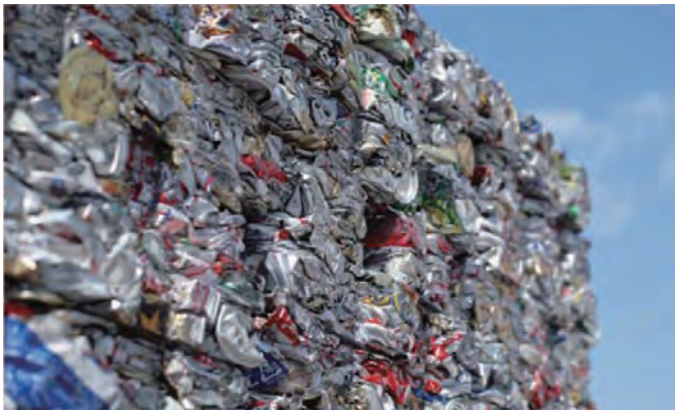
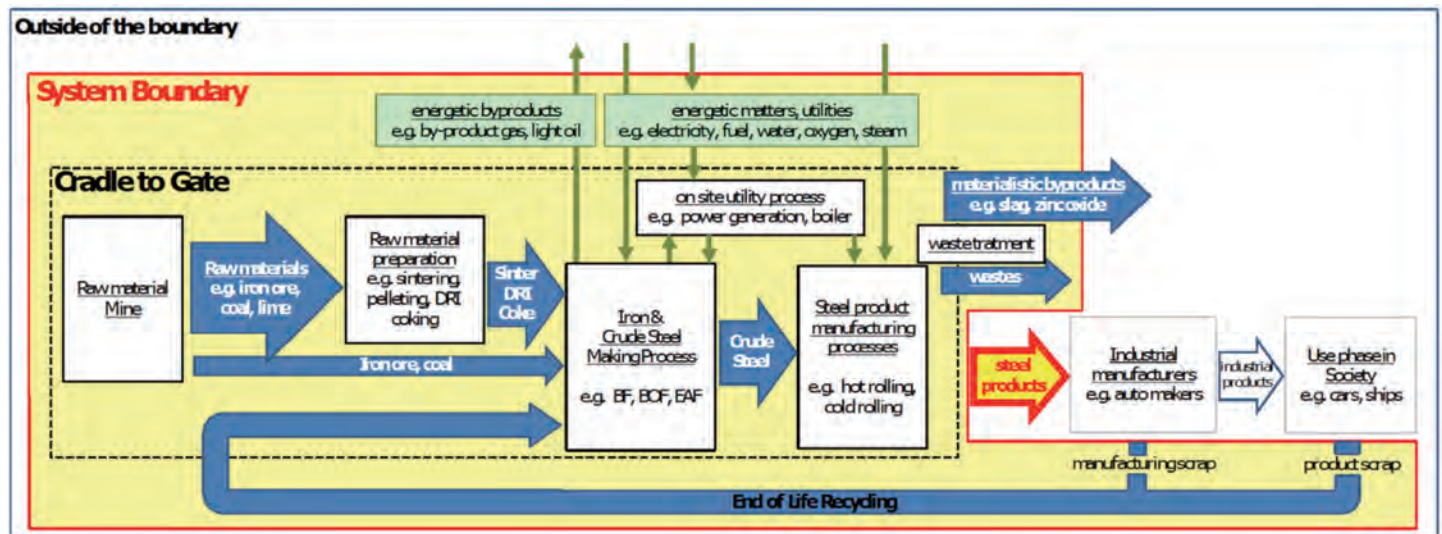
Table 2 Definition of Respective Elements in LCI_{EoL} Equation

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.

(Halaman 9~12)

Stok Material dan Tingkat Daur Ulang Akhir Masa Layan (*End-of-life*) Baja

oleh Ph.D. Ichiro Daigo

Departmen Teknik Material, Graduate School of Engineering, Universitas Tokyo

Akuntansi Stok Baja

Saat ini, lebih dari 1.500 juta ton per tahun baja mentah diproduksi dunia untuk berbagai penggunaan seperti jembatan, menara baja, gedung, kendaraan dan mesin. Pada tahun 1850an, penemuan proses pembuatan baja Bessemer memungkinkan produksi masal baja mentah yang murah. Selama 160 tahun kemudian, produk yang dihasilkan dari baja mentah sudah berakumulasi dalam berbagai bentuk ciptaan manusia dan kini telah menjadi stok masal material. Karena mudahnya didaur ulang, stok baja ini berpotensi sebagai sumber baja sekunder pasca-layan (*post-service-life*)

Pada bagian awal artikel ini, saya hanya akan mendiskusikan konsep stok material yang mengandung produk baja. Produk baja sudah terakumulasi dalam lingkup keteknikan dalam bentuk member struktural yang digunakan dalam berbagai bidang seperti disebutkan di atas. Produk-produk ini selanjutnya berfungsi sebagai produk baja hingga akhir masa layannya (*end-use*). Selama masih dapat diperbaiki, barang tersebut disebut stok berguna (*in-use*) (Foto 1)

Bila dipertanyakan apakah ada kategori lain dari stok baja, maka dalam bidang ekologi industri diusulkan dua kategori tambahan: stok usang (*obsolete*) dan stok hibernasi (*hibernating*). Stok usang dimaksudkan sebagai stok yang sudah mencapai masa layan tertentu dan tidak berfungsi lagi, tetapi masih ada. Stok hibernasi dimaksudkan sebagai suatu bagian stok usang yang masih memiliki potensi daur ulang di masa depan, seperti binatang yang bangun dari hibernasinya di musim semi.

Gbr. 1 menunjukkan transisi akumulasi stok baja di Jepang. Karena stok infrastruktur yang ditunjukkan dalam gambar tidak dapat ditemukan dalam bentuk material selain baja, maka dikatakan bahwa stok tersebut mengandung produk baja eksklusif, dan itu menunjukkan bahwa stok baja yang ada pada infrastruktur tersebut memiliki masa layan yang hampir semi-permanen (Foto 2).

Foto 1 Stok baja berguna (*in-use*)

Gbr. 1 Stok Baja di Jepang selama tahun 1980 hingga

2000

Foto 2 *Slit dam* yang menjadi stok infrastruktur

Analisis Arus dan Stok Material

Secara garis besar ada dua metode yang digunakan untuk mengestimasi stok baja: yang pertama adalah metode *bottom-up* yang menghitung semua produk baja yang ada, dan yang kedua adalah metode *top-down* yang menghitung perbedaan antara jumlah yang masuk dengan jumlah yang terbuang (disebut penambahan netto stok). Stok baja dalam Gbr. 1 dihitung dengan menggunakan metode *top-down*.

Kesulitan perhitungan ini adalah bagaimana menentukan jumlah yang dibuang. Untuk mengestimasi keseluruhan volume stok baja, termasuk stok berguna dan stok usang, jumlah baja *scrap* yang dipulihkan dihitung sebagai jumlah yang terbuang. Sebaliknya, untuk mengestimasi stok berguna, penting untuk menghitung jumlah produk baja yang dikandung dalam semua produk *end-use* yang sudah melampaui masa layan dan sudah dibuang, yang bisa disebut sebagai potensi penghasil baja *scrap*. Jumlah arus yang digambarkan disebelah kanan dalam Gbr. 2 adalah jumlah yang terbuang dari keseluruhan stok dan jumlah arus yang digambarkan di sebelah kiri dalam Gbr. 2 adalah untuk stok berguna.

Walaupun sulit untuk melakukan pengukuran praktis untuk stok berguna, stok berguna dapat diestimasi dengan cara analisis dinamik. Dalam analisis dinamik, potensi hasil *scrap* baja tiap tahunnya diestimasi dengan menggunakan distribusi masa layan produk *end-use* terkait (Gbr. 3) dan input baja untuk penggunaan *end-use* terkait tiap tahunnya di masa lampau.

Gbr. 2 menunjukkan arus produk baja yang terbuang setelah akhir masa layan (atau *scrap* baja yang dipulihkan). Disamping ekspor dan impor produk *scrap* dan bekas, kehilangan (*loss*) juga terjadi dalam flow proses daur ulang; dan, banyak produk baja yang juga direklamasi. Salah satu produk baja yang tidak dapat dipulihkan adalah tiang pancang baja yang digunakan untuk pondasi bangunan yang selalu ditinggalkan di dalam tanah setelah lokasinya dihancurkan, dan juga *crush barrier* yang dipasang di depan terowongan tertutup yang sudah tidak digunakan lagi (Foto 3)

Gbr. 2 Flow Material Baja setelah Dibuang sebagai Produk Akhir-masa-layan (*end-of-life*)

Gbr. 3 Masa Layan Produk *End-use* dengan Rentang

ketidak-pastian

Foto 3 *Crush barrier* pada sebuah jalan yang tidak digunakan lagi yang menjadi stok hibernasi

Pemulihan Scrap yang Melampaui Potensi Hasil Scrap

RR (*end-of-life recycling rate*) adalah suatu variable dalam metodologi LCI (*life cycle inventory*) yang berkaitan dengan efek daur ulang. Karena adanya berbagai definisi terkait tingkat daur ulang, *end-of-life recycling rate* adalah istilah yang digunakan untuk membedakannya dari definisi lainnya. *End-of-life recycling rate* dari stok baja didefinisikan sebagai rasio dimana potensi hasil baja *scrap* menjadi denominator dan baja *scrap* yang dipulihkan sebagai numerator. Nilai denominator dan numerator adalah sebagai digambarkan di atas.

Gbr. 4(a) membandingkan nilai estimasi potensi hasil baja *scrap* dan estimasi jumlah *scrap* yang dipulihkan di Jepang dari tahun 1987 hingga 2010. Dapat dilihat dari gambar bahwa tiap dua tahun sejak 2007 hingga 2008, baja *scrap* dipulihkan dari produk akhir-masa-layan yang sudah melampaui masa layanan sebelum 2007 pada tingkat yang lebih tinggi dari pada potensi hasil *scrap*. Akan tetapi, sejalan dengan estimasi potensi hasil *scrap*, terdapat juga banyaknya ketidak-pastian mengenai masa layanan produk *end-use* seperti digambarkan dalam Gbr. 3. Nilai maksimum dan minimum yang dihasilkan untuk kedua parameter masing-masing ditunjukkan dalam Gbr. 4(b) dan Gbr. 4 (c). Bahkan bila ketidak-pastian ini diperhitungkan, dapat disimpulkan bahwa baja *scrap* yang dipulihkan dalam tahun 2007 dan 2008 melampaui potensi hasil *scrap* untuk tahun-tahun tersebut.

Selama periode tahun 2007-2008, baik harga sumber daya maupun kebutuhan akan produk baja tinggi, dan diyakini sebagai akibat dari tingginya pemulihan *scrap*. Sementara itu, beberapa produk baja sudah selesai masa layannya dalam beberapa tahun sebelumnya, dan produk-produk ini secara intensif kemudian dijadikan *scrap* dalam periode tersebut.

Berikut ini adalah yang dianggap sebagai faktor-faktor yang menentukan usaha pemulihan intensif pada tahun 2007 dan 2008. Biaya pemulihan produk limbah baja yang dihasilkan di daerah pinggir kota tinggi sehingga limbah tersebut sering dibiarkan tanpa adanya isu hukum ataupun isu keselamatan bila keuntungan dari penjualan *scrap* tidak memadai secara ekonomis untuk dilakukannya pemulihan. Akan tetapi, karena harga baja *scrap* pada tahun 2007-2008 tinggi,

produk akhir-masa-layan yang sudah diabaikan sebagai stok hibernasi kemudian dipulihkan, dan kemudian mengakibatkan tingkat pemulihan yang tinggi pada tahun 2007-2008.

Gbr. 4 Perbandingan antara Potensi Hasil Baja *Scrap* dan Baja *Scrap* yang Dipulihkan

Potensi Tinggi Pemulihan Baja

Dalam studi ini, kami memperoleh banyak informasi. *End-of-life recycling rate* produk baja selama sekitar 20 tahun terakhir tinggi—lebih dari 80% (lihat Gbr. 5). Selanjutnya, diketahui juga bahwa *rate* pemulihan sangat berfluktuasi mulai dari 80% hingga 110% tergantung dari harga *scrap* dan kebutuhan akan produk baja dalam suatu tahun. Dari kondisi fluktuatif ini, dapat dikatakan bahwa RR, yang merupakan salah satu variable dalam metodologi LCI yang terkait dengan efek daur ulang, harus dinilai dengan menggunakan data dalam suatu tahun; dan juga, akan lebih tepat menerapkan nilai tahunan rata-rata selama periode yang lebih panjang. Seperti dalam Gbr. 6, dapat diketahui bahwa baja *scrap* yang pemulihannya sangat tergantung harga dan/atau kebutuhan adalah *scrap* berat, khususnya *scrap* berat mutu rendah.

Dalam periode dimana harga *scrap* membumbung, tercatat ada dua fitur khusus: pertama, bahkan stok baja hibernasi pun dapat dipulihkan dan, kedua, jumlah stok baja hibernasi yang dipulihkan tidak dapat diabaikan dalam hal pemulihan total (lihat Gbr. 7). Hal di atas menunjukkan bahwa walaupun ada sejumlah stok baja yang tidak dapat segera dipulihkan, bukan berarti tidak dapat dipulihkan kemudian. Oleh karenanya, dapat dikatakan bahwa selama stok baja ada dalam produk-produk ciptaan manusia, tetap ada potensi untuk dimanfaatkan sebagai sumber daya sekunder di masa depan.

Beberapa alasan utama tingginya potensi daur ulang produk baja, diantaranya adalah: kemudahan pemisahan dari material lain dengan magnet, kemungkinan membuang kotoran dalam proses pembuatan baja tanpa elektrolisis dan tingginya ketidak-murnian yang diperbolehkan. Disamping itu, produk baja unggul dalam hal tingginya potensi pemulihan, termasuk tersedianya waktu pemulihan produk akhir layanan.

Gbr. 5 *End-of-life Recycling Rate* Baja di Jepang
Gbr. 6 Jumlah *Scrap* Berat yang Dipulihkan berdasarkan Kategori Relatif terhadap EoL-RR

Gbr. 7 Ilustrasi Skematik Peran Stok Hibernasi dalam Mekanisme Pemulihan



Photo 1 In-use stock of steel

Fig. 1 Steel Stock in Japan during 1980 to 2000

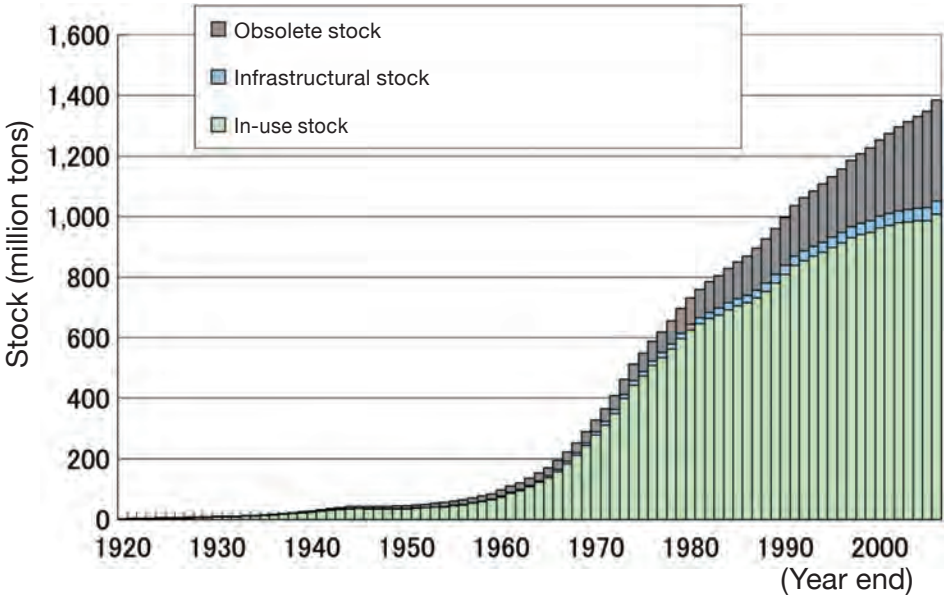


Fig. 2 Material Flows of Steel after Discarding as End-of-life Products

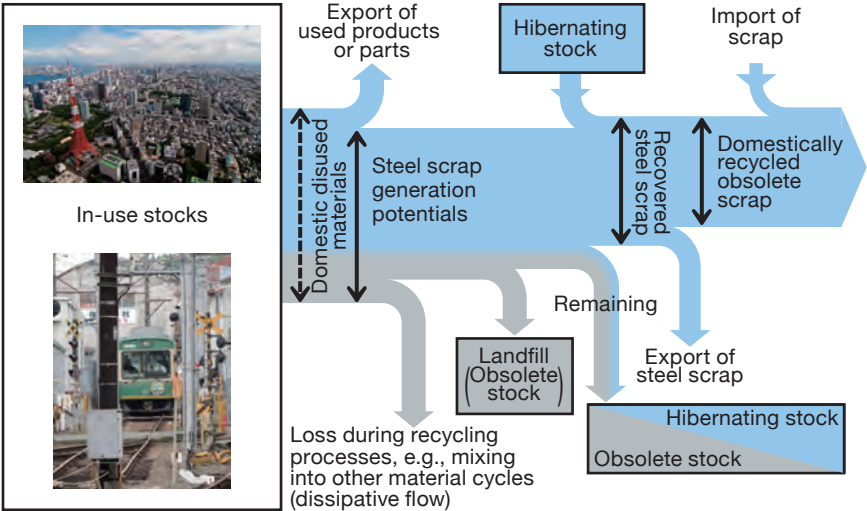


Fig. 3 Lifetime of End-use Products with a Range of Uncertainty
 (Regarding buildings and automobiles, actual lifetimes for them can be obtained by statistics.)

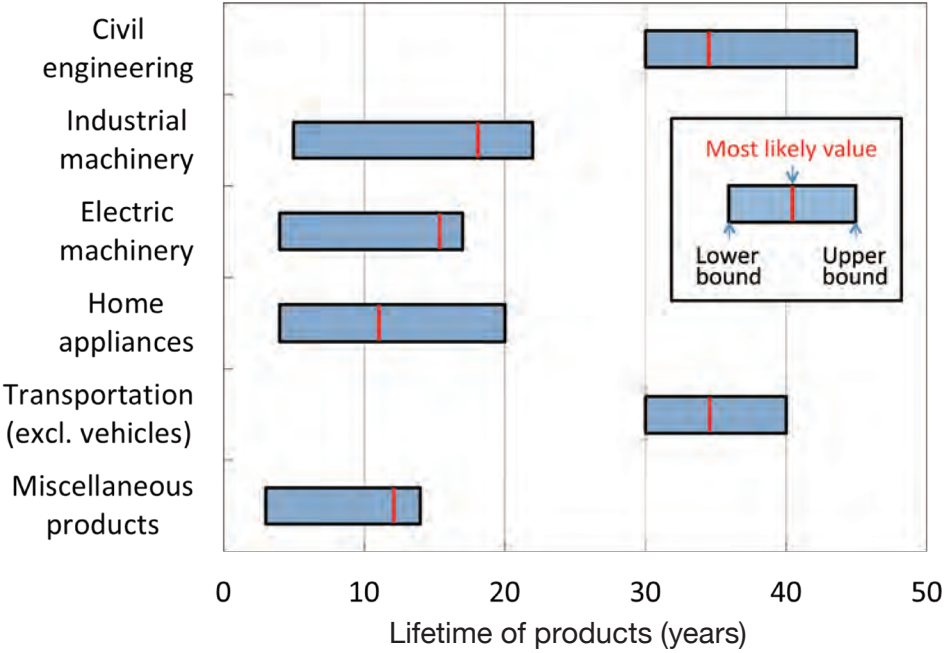


Photo 2 Slit dam as a case of infrastructural stock



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))

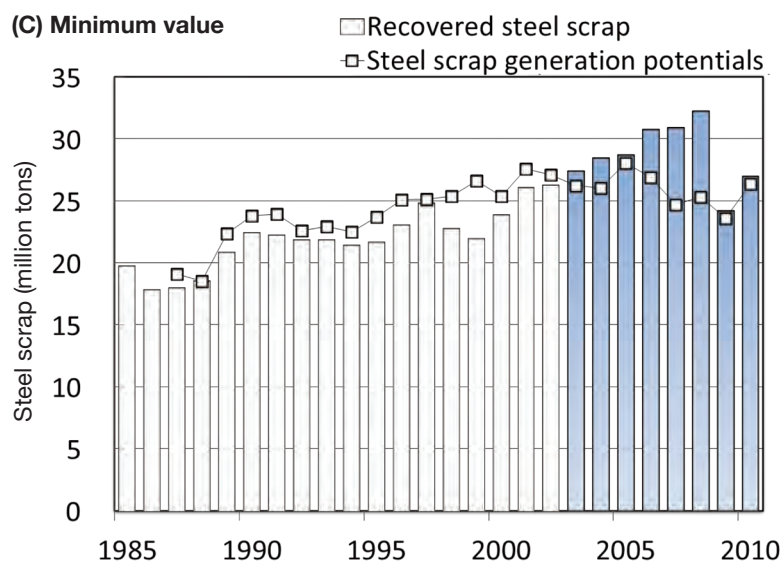
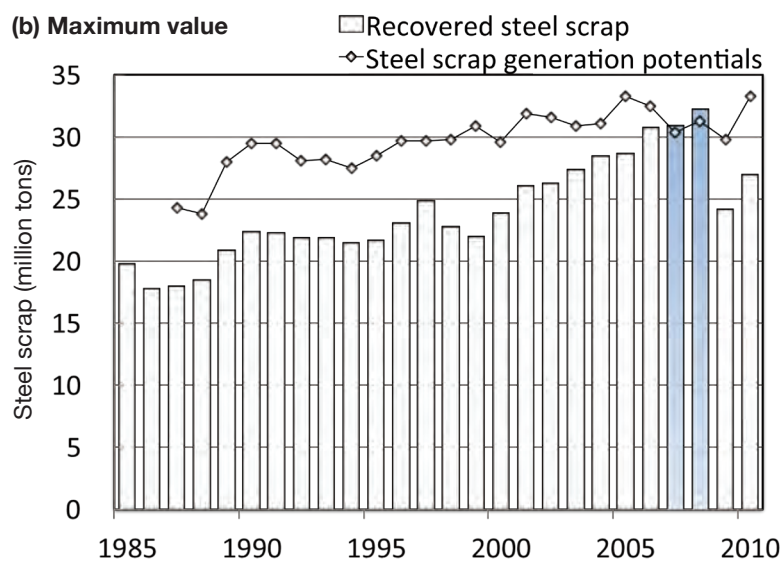
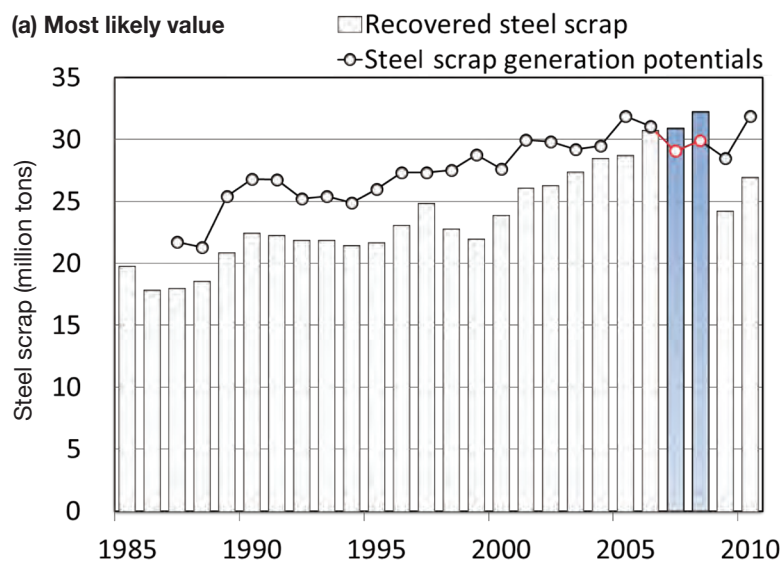


Fig. 5 End-of-life Recycling Rate of Steel in Japan

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

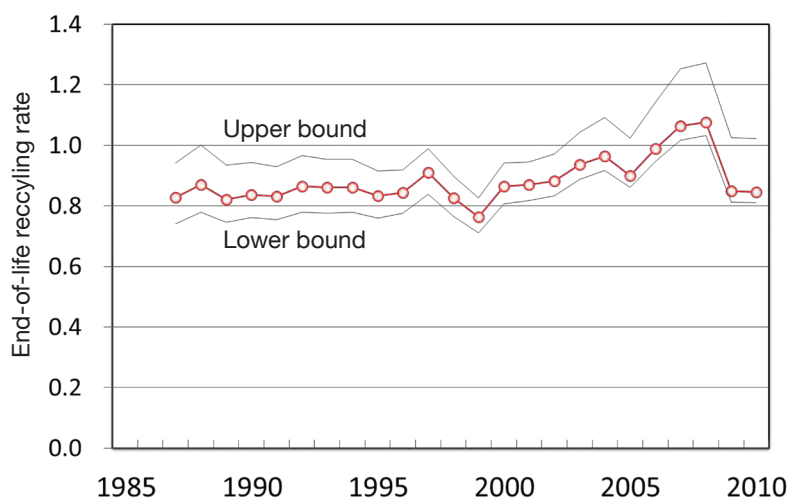


Fig. 6 Amount of Heavy Scrap Recovered by Category relative to its EoL-RR

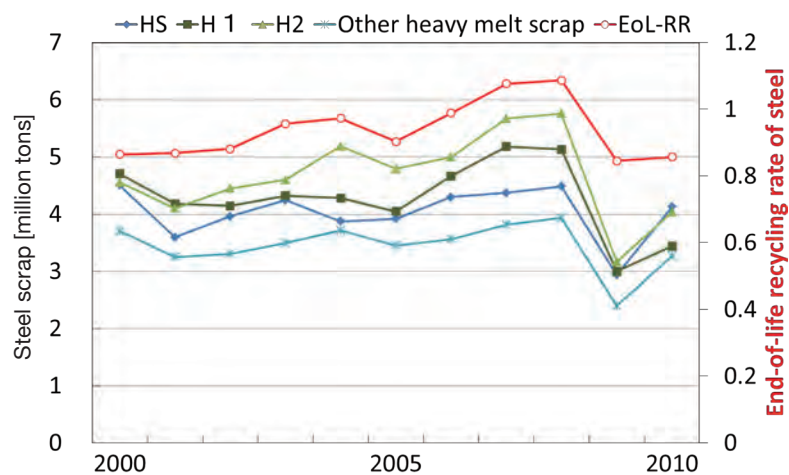
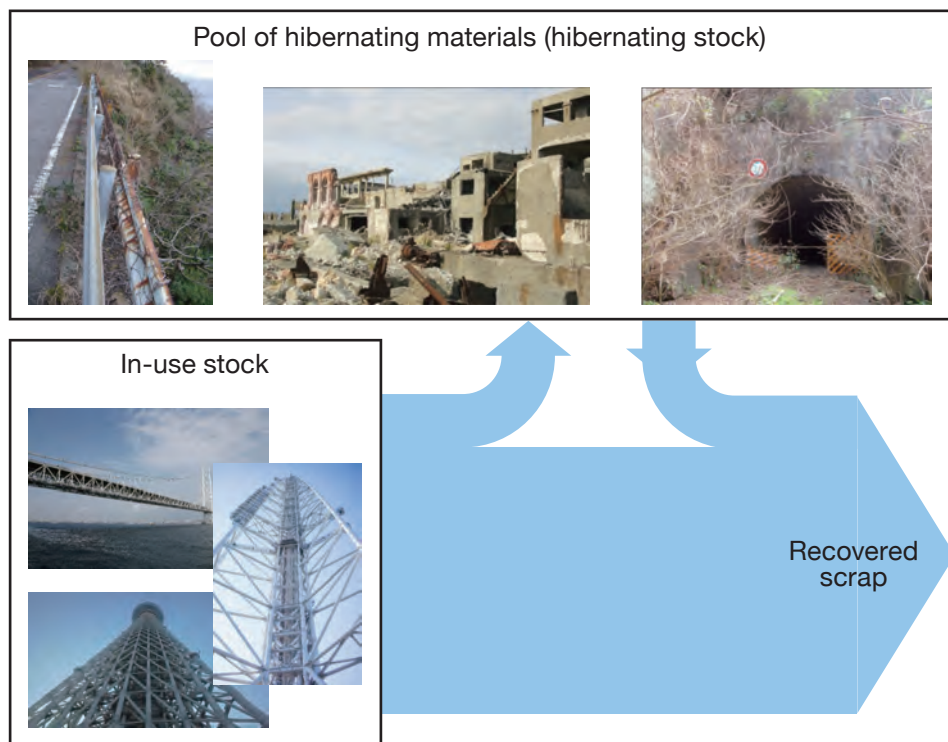


Fig. 7 Schematic Illustration of the Role of Hibernating Stock in Recovery Mechanisms



(Halaman 13~16)

Produk Konstruksi Baja yang Kondusif untuk Mendukung Masyarakat Ramah Lingkungan

oleh Shinji Kitano

Ketua, Komite Baja Ramah Lingkungan untuk Konstruksi, Federasi Besi dan Baja Jepang

Baja: Tinggi dalam hal Kinerja, Ekonomi dan Potensi Daur Ulang

Baja adalah logam yang sangat dikenal siapapun, dalam lebih dari 90% produk berlogam dihasilkan dengan menggunakan baja. Tidak terhitung jumlah produk yang dibuat dengan baja yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Besi mencapai sekitar 30% dari total berat bumi dan merupakan sumberdaya bumi yang paling kaya. Disamping itu, karena bersifat magnetik, besi dapat dengan mudah dipisahkan dari material lainnya dan dapat mudah dipulihkan setelah masa layannya berakhir.

Sekalipun berragam jenis material baru sudah diusahakan untuk menciptakan era keberragaman material, besi khususnya merupakan material yang kaya sumber daya yang tidak hanya menggabungkan karakteristik kinerja dan ekonomi tetapi juga memiliki potensi daur ulang yang tinggi

Industri baja Jepang sudah mengembangkan dan memasarkan berbagai jenis produk ramah lingkungan. Artikel ini memperkenalkan inisiatif industri ini untuk mendorong pelestarian lingkungan global dan produk konstruksi baja yang ramah lingkungan.

Metode Tanur Sembur dan Tanur Busur Listrik dan Pembuatan Besi dan Baja

Produk baja menggunakan dua jenis baja: baja tanur oksigen dasar yang dihasilkan dalam sebuah pabrik baja terpadu dimana *pig iron* dihasilkan dalam sebuah tanur sembur dengan menggunakan bijih besi dan batu bara sebagai material mentah; dan baja tanur busur listrik yang diproduksi dalam sebuah tanur busur listrik dengan menggunakan *scrap* baja sebagai material utamanya.

Dalam proses tanur oksigen dasar, *pig iron* (cairan besi) yang dihasilkan dalam sebuah tanur sembur dengan cara mengurangi dan mencairkan bijih besi menggunakan batu bara dimurnikan dalam sebuah tanur oksigen dasar untuk menghasilkan baja mutu tinggi. Sementara itu, dalam proses tanur busur listrik, baja *scrap* yang dibeli dari pasar setempat dicairkan dan dimurnikan dalam sebuah tanur busur listrik untuk

menghasilkan baja khusus dan baja biasa.

Industri baja memasok berragam produk baja ke masyarakat dengan menyesuaikan dengan karakteristik metode proses tanur sembur dan tanur busur listrik dan menurut lokasi pabrik baja dan juga jenis produk yang akan dibuat (Gbr. 1)

Dengan perkembangan ekonomi seperti yang terjadi di negara-negara yang muncul berkembang seperti Cina dan India, kebutuhan akan baja dunia bergerak ke atas baik menurut ramalan jangka menengah maupun jangka panjang. Terdepan hingga tahun 1990 an, produksi baja mentah dunia mengalami periode transisi dengan rata-rata sekitar 700 juta ton/tahun, tetapi, memasuki abad ke 21, skala produksi sangat meningkat di negara-negara yang muncul berkembang, khususnya di Cina, dimana produksi baja mentah dunia melampaui 1.600 juta pada tahun 2014.

Dalam situasi meningkatnya produksi baja mentah, tercatat bahwa peningkatan produksi baja tanur oksigen dasar jauh melebihi baja tanur busur listrik (Gbr. 2). Hal ini terjadi karena baja *scrap* yang menjadi bahan mentah untuk tanur busur elektrik tidak sepenuhnya dihasilkan kecuali jika sejumlah infrastruktur sosial bisa dikumpulkan. Karena distribusi baja *scrap* secara internasional mengalir dari negara maju ke negara berkembang, jumlah *scrap* yang dihasilkan tidak dapat memenuhi kebutuhan yang ada di negara berkebang. Karena tidak dimungkinkan mengandalkan hanya pada tanur busur listrik untuk memenuhi kebutuhan baja mentah dunia, maka penting untuk mengandalkan proses terpadu tanur sembur-tanur oksigen dasar untuk menghasilkan dan memasok baja mentah yang dibutuhkan.

Dalam proses tanur busur listrik, karena *scrap* dilelehkan dengan listrik, emisi CO₂ yang dihasilkan dari proses tanur busur listrik lebih sedikit daripada proses tanur sembur karena bijih besi dikurangi menggunakan batu bara. Akan tetapi, produk baja yang dihasilkan dalam tanur sembur akhirnya menjadi *scrap* usang, yang kemudian digunakan sebagai material mentah utama dalam proses tanur busur listrik. Dengan cara ini, dapat dimengerti bahwa secara jangka panjang semua produk baja yang diproduksi, baik dalam tanur sembur maupun busur listrik, akan membentuk suatu kolam sirkulasi. Semua produk besi dan baja dapat di daur ulang berulang dalam kolam sirkulasi ini (Gbr. 3), yang akhirnya berkontribusi terhadap peghematan energi dan sumber daya.

Sekalipun dilakukan pertukaran dalam proses pembuatan besi dan baja antara metode tanur sembur

dengan metode tanur busur listrik, pertukaran ini tidak akan berakibat pada pengurangan emisi CO₂ total. Hal ini karena untuk mengimbangi penurunan ekspor *scrap* dari Jepang diperlukan peningkatan baja yang dihasilkan di negara-negara lain dengan menggunakan metode tanur sembur. Dengan kata lain, apa yang disebut sebagai kebocoran karbon disebabkan oleh meningkatnya produksi yang bergantung pada tanur sembur dengan efisiensi energi yang rendah yang digunakan di negara-negara lain, yang pada akhirnya akan menggiring ke arah peningkatan emisi CO₂ total di dunia.

Gbr. 1 Proses Pembuatan Besi dan Baja

Gbr. 2 Produksi Baja Mentah Dunia

Gbr. 3 Konsep Daur Ulang Baja

Inisiatif Industri Baja untuk Pencegahan Pemanasan Global

• Pencegahan Pemanasan Global dalam Proses Pembuatan Besi dan Baja

Industri baja Jepang secara aktif telah mempromosikan pengoperasian pembuatan besi dan baja yang ramah lingkungan dan akan terus demikian. Diantara penanganan lingkungan yang komprehensif yang dipromosikan adalah metode produksi efisiensi energi, pemanfaatan efektif hasil ikutan pabrik produksi baja, pelestarian kualitas air dan atmosfer dan penghijauan hutan lokasi pabrik.

Catatan khusus perlu dibuat terkait pemanfaatan energi yang efektif. Sejumlah besar energi yang timbul dalam bentuk produk sampingan dalam tiap proses kemudian dipulihkan dan digunakan kembali. Gas hasil ikutan yang dihasilkan dari *coke oven*, tanur sembur dan tanur oksigen dasar dipulihkan dan digunakan sebagai sumber energi untuk peralatan lainnya.

Selanjutnya, terdapat juga jenis energi lain yang dipulihkan untuk digunakan kembali. Sebagai contoh, tekanan penutup (*top pressure*) yang digunakan dalam pengoperasian tekanan penutup dalam tanur sembur dapat dipulihkan dengan *top-pressure recovery turbine* (TRT) untuk menghasilkan listrik, dan limbah panas dari *coke oven* juga dipulihkan dengan menggunakan peralatan *coke dry quenching* (CDQ). Gbr. 4 menunjukkan teknologi utama penghematan energi yang sudah diperkenalkan dalam pengoperasian pabrik baja di Jepang. Sebagai hasil dari usaha tanpa henti untuk memperbaiki pengoperasiannya, industri baja Jepang saat ini menjadi negara paling terdepan dalam hal efisiensi energi seperti digambarkan dalam Gbr. 5

Industri baja Jepang bermaksud tidak saja melanjutkan usaha-usahanya untuk mitigasi pemanasan global tetapi juga menyebar-luaskan ke seluruh dunia segala pengetahuan yang telah didapatkannya melalui inisiatif ini dan pengalaman dan juga untuk mendorong kerjasama internasional dalam bidang ini secara positif.

Gbr. 4 Teknologi Utama Hemat Energi dan Sumber Daya yang Diterapkan dalam Pabrik Baja

Gbr. 5 Perbandingan Internasional Konsumsi Energi Satuan dalam Industri Baja

• Efek Pengurangan Emisi CO₂ dalam Tahap Aplikasi Produk Baja

Produk baja banyak digunakan untuk berbagai tujuan aplikasinya untuk menghasilkan berbagai jenis produk akhir. Kebanyakan produk akhir ini digunakan dalam angkutan massal yang efisien untuk orang dan barang dan beroperasi dengan efisiensi energi yang tinggi, yang pada akhirnya berkontribusi dalam pengurangan emisi gas rumah kaca.

Emisi CO₂ yang ditekan dengan penggunaan produk akhir yang dihasilkan dengan menggunakan produk baja kinerja tinggi yang dikembangkan oleh industri baja Jepang diperkirakan mencapai 9,76 juta ton di Jepang pada TF2013, dan produk akhir dengan jumlah yang sama yang diekspor ke luar negeri mengurangi hingga 15,82 juta ton (Gbr. 6). Salah satu produk baja yang memungkinkan efisiensi energi untuk produk akhir adalah lembaran baja mutu tinggi untuk mobil. Mobil ringan yang dihasilkan dengan penggunaan lembaran baja mutu tinggi berperan dalam peningkatan efisiensi bahan bakar. Demikian juga, pelat mutu tinggi untuk pembuatan kapal juga berkontribusi terhadap peningkatan efisiensi bahan bakar. Lembaran baja listrik miring yang digunakan untuk *transformer* meniadakan kehilangan energi, dan pipa baja mutu tinggi tahan panas berkontribusi dalam peningkatan efisiensi pembangkitan energi.

Gbr. 6 Efek Pengurangan Emisi CO₂ yang Dicapai oleh Lima Produk Akhir Utama (Perkiraan tahun 2013)

Konstruksi Baja yang Kondusif untuk Melestarikan Lingkungan Global

• Produk Konstruksi Baja yang Kondusif untuk Mengurangi Dampak Lingkungan

Disamping mengurangi penggunaan baja, produk konstruksi baja dengan tegangan tarik yang ditinggikan

akan membantu mengurangi dampak lingkungan global dengan beberapa cara, seperti pengurangan limbah konstruksi, pelestarian sumber daya dan perpanjangan masa layan stuktur dan peralatan. Contoh khususnya sebagai berikut:

— Pengurangan limbah konstruksi

Karena produk baja dapat didaur ulang, hampir tidak terdapat limbah. Keuntungan ini tidak saja mengurangi biaya pengolahan limbah tetapi juga membantu memperpanjang masa layan tempat pembuangan limbah yang pada dasarnya tidak aman.

— Penghematan sumber daya

Baja dikatakan merupakan material yang ramah lingkungan karena produk-produk baja dapat dengan mudah dibongkar, dipasang ulang dan digunakan berulang. Sebagai contoh, ada kasus jembatan rel yang dibongkar setelah digunakan di suatu lokasi kemudian dipindahkan dan digunakan ulang di tiga lokasi lainnya (Gbr. 7).

— Perpanjangan masa layan struktur bangunan

Struktur rangka baja memungkinkan konstruksi dengan bentang panjang tanpa membutuhkan dinding tahan gempa; oleh karenanya, struktur cocok untuk pengembangan dan pembangunan kembali. Selanjutnya, struktur rangka baja juga memungkinkan konstruksi bangunan untuk masa layan yang panjang yang dapat memenuhi perubahan di masa depan untuk disesuaikan dengan tujuan aplikasi bangunan.

• Produk Konstruksi Baja yang Selaras dengan Alam

Dengan mengandalkan kekuatan, kemudahan pelaksanaan, dan sifat unggul baja lainnya, sudah dikembangkan berragam jenis produk konstruksi baja yang selaras dengan alam. Dalam proyek konstruksi yang diharapkan dekat dengan alam, penting untuk menselaraskannya dengan alam dan juga melestarikan lingkungan alam. Dalam hal ini, produk konstruksi baja yang sudah dikembangkan sejauh ini hnaya memberikan sedikit dampak merusak pada alam dan walau tidak nyata, berperan penting dalam pelestarian alam dalam berbagai cara. Lebih jauh lagi, setelah masa layan yang panjang selesai, produk-produk ini dapat didaur ulang dengan efektif. Di bawah ini adalah beberapa contoh khusus:

— Pancang baja lulus-air

Aplikasi pancang baja dengan lobang lulus-air memungkinkan konstruksi dinding pancang baja yang tidak menahan aliran air dan memberikan efek buruk pada ekologi setempat dan lingkunagna alam. Hasil analisis menunjukkan bahwa: dalam hal ketika bukaan

mencapai 0.4% dari total luas permukaan tiang (atau 1.000 bukaan dengan diameter 5~70 mm), 80% aliran aslinya dapat dipertahankan. (Gbr. 8)

— Tanggul pancang baja dengan menggunakan *planting fin*

Penanaman *fins* menjaga tanah yang berfungsi sebagai pondasi untuk menanam tumbuhan tahunan (*perennial*). Pemasangan *fin* pada *revetment* pancang baja memungkinkan penghijauan lereng dan menutupi permukaan pancang baja tanpa menghalangi fungsi *revetment*. (Gbr.9)

— Dam baja lulus air untuk mencegah penimbunan pasir

Dam baja lulus-air (*slit dam*) menangkap bebatuan dan kayu hanyut yang terbawa hanyut banjir besar. Dam ini juga memungkinkan aliran lumpur yang ikut untuk mengalir ke hilir. Di samping itu, selama periode normal, dam ini tidak mempunyai efek pada aliran gunung dan juga memungkinkan air dan pasir lolos dengan bebas, sehingga ikan dapat bergerak bebas dan tanaman dapat hidup. Dengan demikian, dam baja lulus-air dapat menghilangkan aktivitas alam yang berat tanpa mengganggu alam. Selama periode normal, dam ini tidak menghalangi baik aliran tanah maupun pasir, dan mencegah penurunan ketinggian dasar sungai dan mundurnya garis pantai sehingga ekosistem dapat dilestarikan. (Gbr. 10)

— Dam baja kedap air untuk menghalangi pasir

Pemakaian pasir dan bebatuan yang diperoleh dekat lokasi dam sebagai material pengisi barikade dam (70% atau lebih pada standar sertifikasi) memungkinkan konstruksi dam yang tidak menimbulkan efek buruk pada ekosistem. Selanjutnya, dam-dam ini mengurangi volume material limbah (seperti pasir residu) yang harus dihilangkan dan dengan demikian menghilangkan dampak lingkungan. (Gbr. 11)

Gbr. 7 Kasus Penghancuran dan Penggunaan Kembali Struktur Baja (Jembatan Tonegawa pada Jalur Joban)

Gbr. 8 Pemancangan Baja lulus-air

Gbr.9 Tanggul Pancang Baja Menggunakan Penanaman *Fin*

Gbr. 10 Dam Baja Lulus Air untuk Mencegah Penimbunan Pasir

Gbr. 11 Dam Baja Kedap Air untuk Membendung Pasir

Usaha Industri Baja untuk Memecahkan Masalah Lingkungan

Tindakan terhadap masalah lingkungan global akan

menjadi semakin penting di masa depan. Untuk itu, industri baja Jepang akan terus mempromosikan tidak hanya penghematan energi dan sumber daya dalam tiap proses produksinya, tetapi juga pengembangan produk baja kinerja lebih tinggi dan ramah lingkungan—dengan tujuan utama untuk berkontribusi pada pencegahan pemanasan global dan pembentukan masyarakat berorientasi daur ulang.

Fig. 1 Iron- and Steelmaking Process

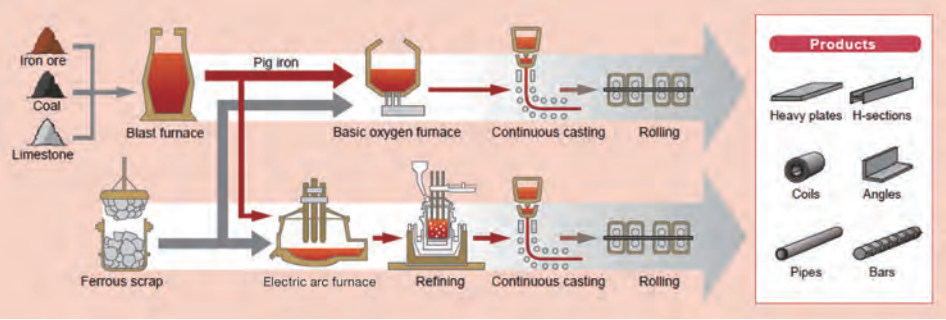


Fig. 2 Crude Steel Production in the World

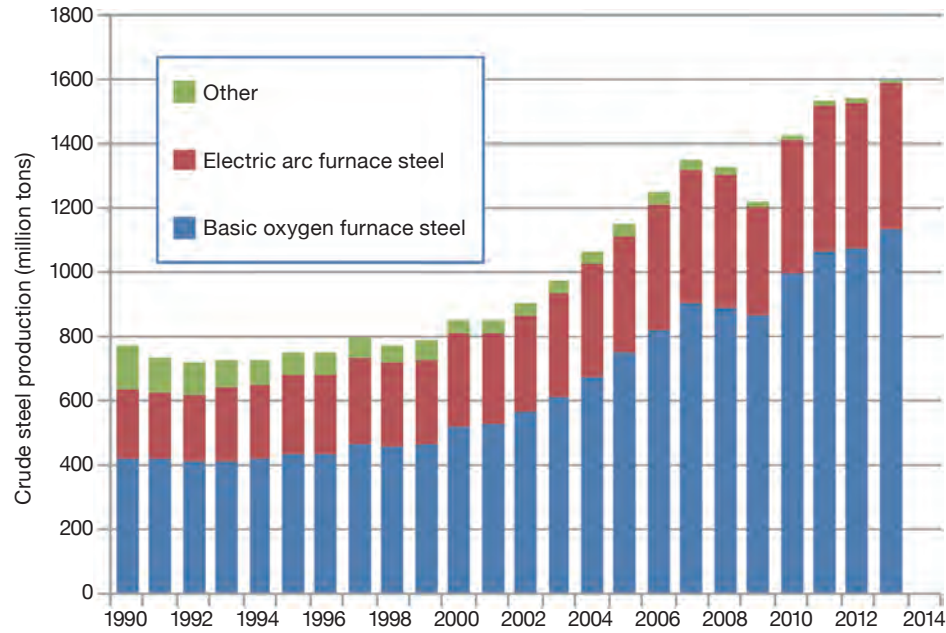
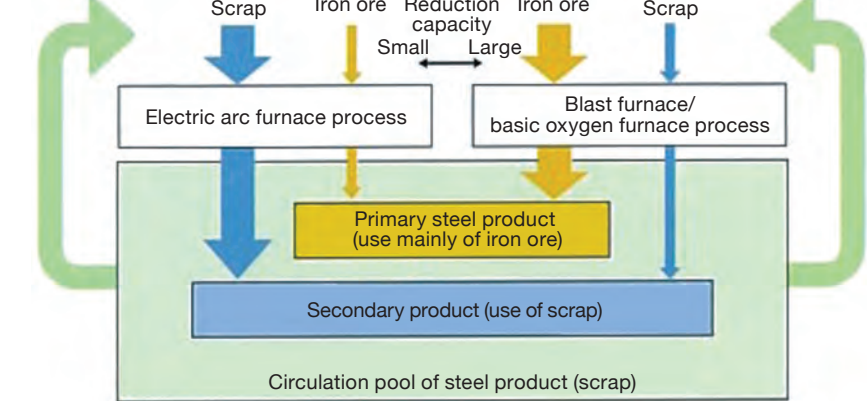


Fig. 3 Concept of Steel Recycling



Source : LCA Methodology Report (worldsteel, 2011)

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

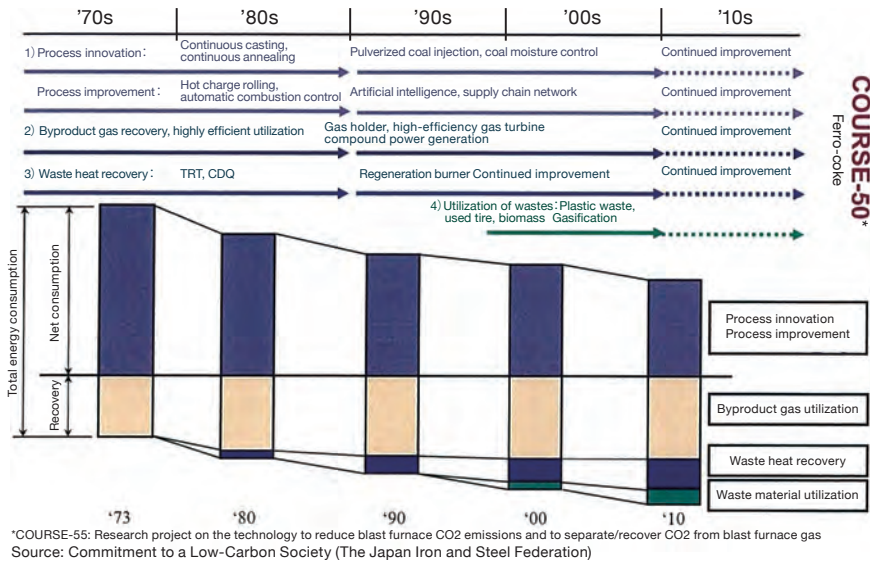
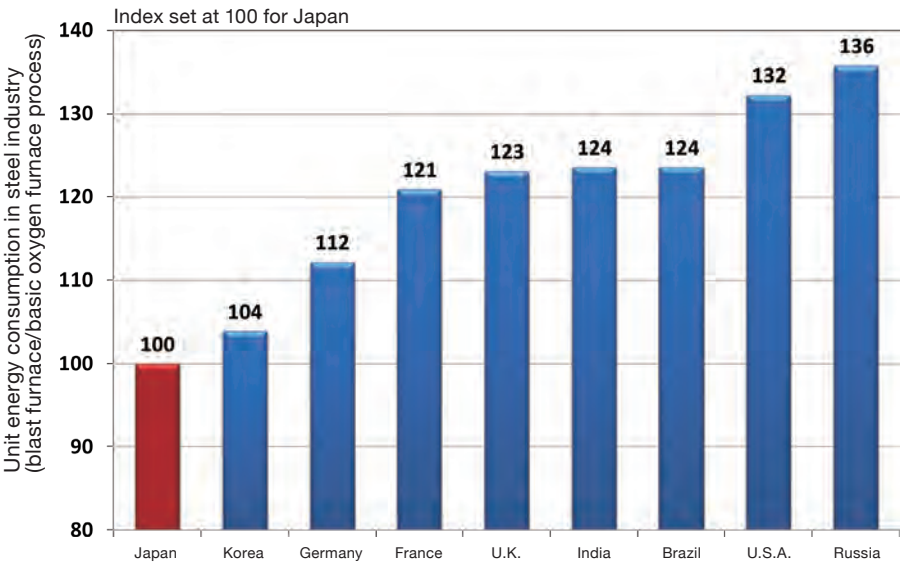
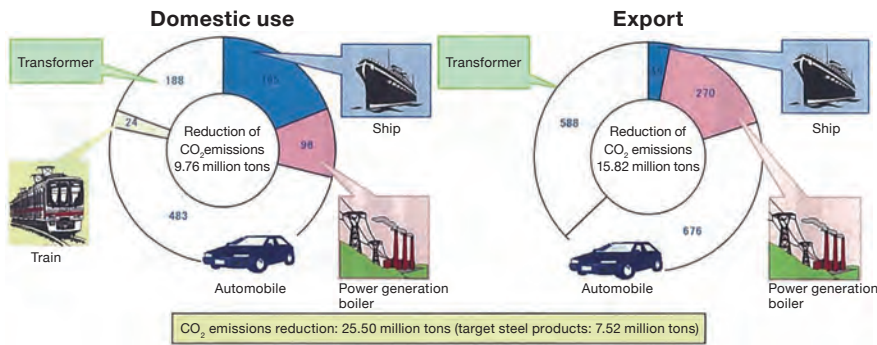


Fig. 5 International Comparison of Unit Energy Consumption in the Steel Industry



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 (Tonegawa Bridge on Joban Line)

The eight-span Tonegawa 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.

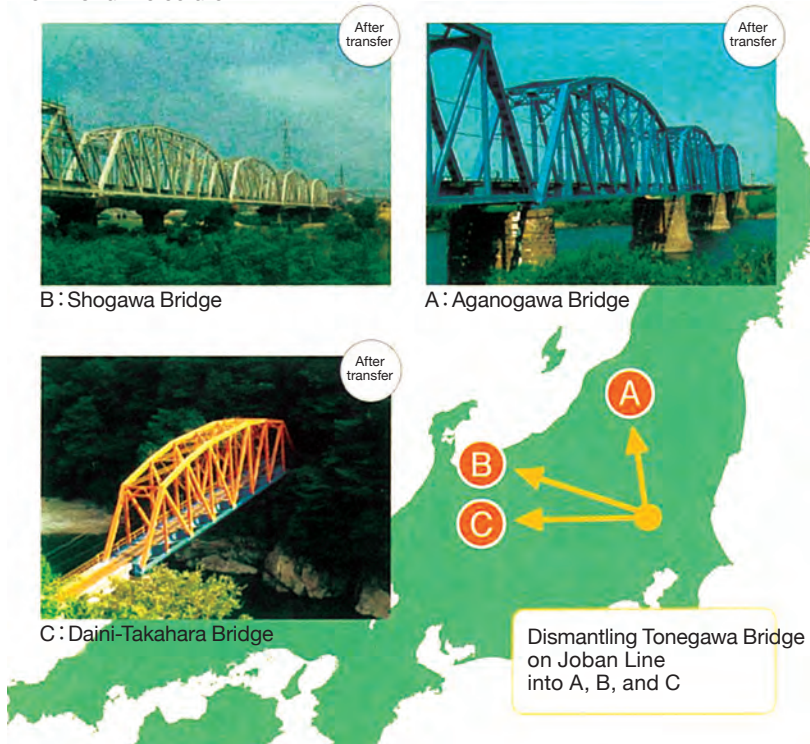


Fig. 8 Water-permeable Steel Piling

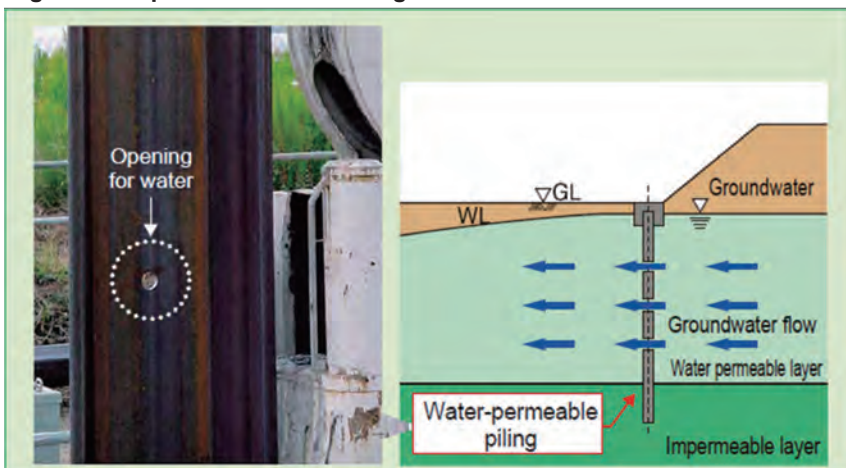


Fig. 9 Steel Pile Embankment Using Planting Fin

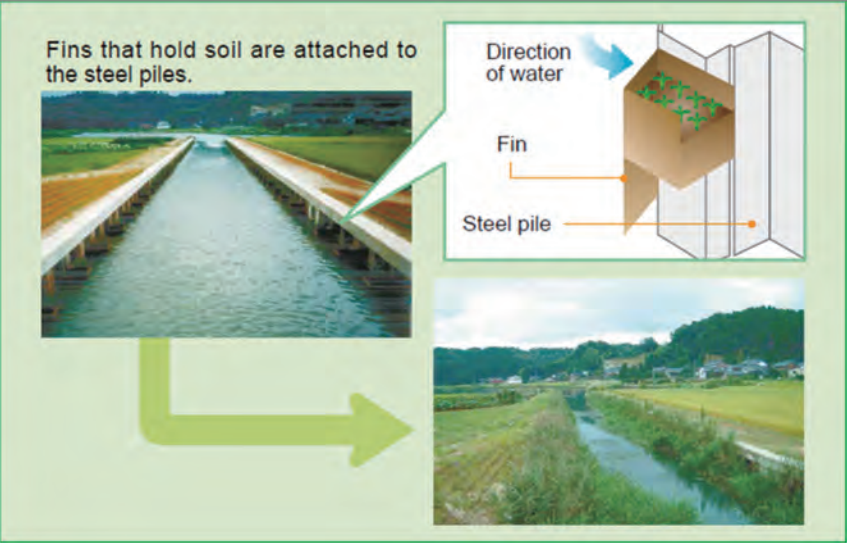


Fig. 10 Water-permeable Steel Dam to Prevent Sand Buildup



Fig. 11 Impermeable Steel Dam to Block Sand



(Halaman 17~18)

Teknologi Konstruksi Baja di Jepang

Pada tahun 2014, berdasarkan permintaan dari Kementerian Pertanian, infrastruktur, transport dan Pariwisata, Federasi Besi dan Baja Jepang (FBBJ) mengumpulkan daftar teknologi konstruksi di Jepang (dalam Bahasa Inggris). Daftar tersebut berisi penjelasan singkat mengenai sejumlah 27 jenis teknologi konstruksi dan material baja untuk digunakan dalam bidang konstruksi bangunan dan keteknik-sipil sehingga teknologi dan material tersebut dapat dikenal dan dapat digunakan untuk aplikasi di luar negeri.

Isi selengkapnya tersedia pada laman FBBJ: kunjungi (<http://www.jisf.or.jp/en/activity/sctt/index.html>) untuk akses publik.

Dibawah ini diperkenalkan empat jenis yang diambil dari daftar.

Baja Kekuatan Tinggi untuk Bangunan (SA440, H-SA 700)

SA440 (baja dengan kuat tarik: 590N/mm^2) dan H-SA700 (baja dengan kuat tarik: 780N/mm^2) merupakan baja kekuatan tinggi yang dikembangkan untuk konstruksi bangunan. Penggunaan baja kekuatan tinggi dapat menurunkan ukuran dan berat khususnya untuk rangka baja seksi ukuran besar dan ekstra berat, misalnya, kolom rangka baja untuk bangunan tinggi. Material baja ini juga efektif untuk mengurangi berat rangka atap dan member berat lainnya.

Tabel: Perbandingan Dimensi SN490B, dan SA440 dan H-SA700

Gambar: Pengurangan Berat Baja dengan Menggunakan SA440 dan H-SA700

Baja Tahan Api

Baja tahan api menunjukkan kekuatan lebih tinggi dibandingkan dengan material bangunan konvensional pada temperatur tinggi. Dipastikan bahwa pada 600°C *proof stress* material ini setidaknya dua pertiga dari *proof stress* pada suhu ruang. Baja tahan api memungkinkan pengurangan atau dihilangkannya proteksi kebakaran dalam konstruksi fasilitas parkir lantai banyak dan bangunan lainnya. Ini berarti ada beberapa keuntungan yang dapat diharapkan: biaya lebih rendah, periode konstruksi yang lebih singkat dan lingkungan kerja yang lebih baik.

Gambar: Kinerja Temperatur Tinggi dari Baja Tahan Api

Foto: Aplikasi pada parkir mobil lantai banyak

Slit Dam Baja untuk Mengontrol Aliran Puing

Ini adalah *slit dam* baja lulus air yang dibangun dengan cara menyambungkan pipa-pipa baja yang mempunyai penyerapan guncangan yang tinggi. Struktur ini mempertimbangkan lingkungan, dan didisain agar tidak mengganggu aliran sungai, sehingga memungkinkan laluan air dan tanah dan pasir tidak terhalang. Akan tetapi, sekali terjadi aliran puing, semua material lepas akan dapat ditangkap.

Foto: *Slit dam* baja dalam kondisi normal dan ketika ada aliran puing

Baja Cuaca untuk Jembatan

Baja cuaca membentuk karat pelindung pada tiap permukaan dengan ditamharkannya elemen seperti Cu, Ni, dan Cr. Lapisan pelindung karat ini kedap dan homogeny, dan dicirikan dengan sangat lambatnya pertambahan korosi. Properti ini memungkinkan baja cuaca untuk terus berfungsi tanpa perlu pengecatan permukaan. Hal ini tentunya berkibat pada berkurangnya biaya pemeliharaan jembatan baja.

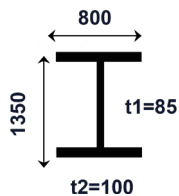
Gambar: Gambar Biaya Masa Layan Jembatan Baja Cuaca

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.

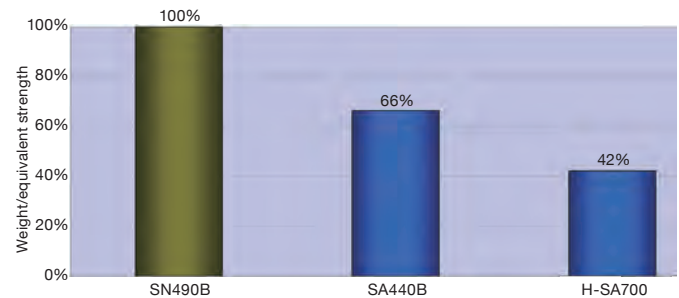
Dimension of Conventional SN490B



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



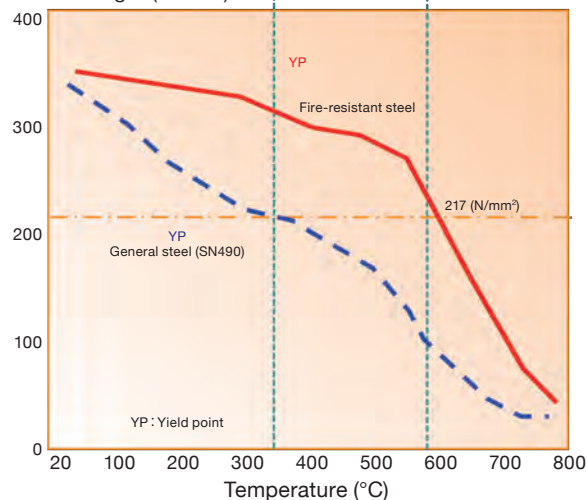
Fire-resistant Steel

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

Yield strength (N/mm²)



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 :



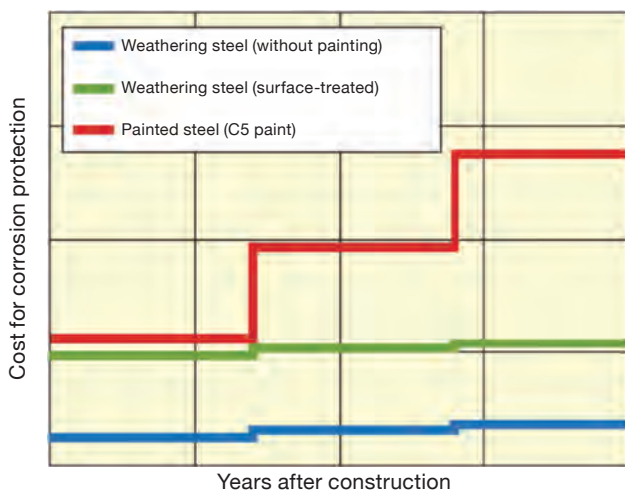
Shift-type structures is designed considering the ecosystem, which does not disrupt river flow.

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

(Sampul belakang)

Kegiatan FBBJ

Dua Seminar diselenggarakan di Thailand

Federasi Besi dan Baja Jepang (FBBJ), beklerja sama dengan Institut Besi dan Baja Thailand, menyelenggarakan dua seminar pada bulan Oktober 2015 di Bangkok. Kedua seminar ini direncanakan sebagai bagian dari proyek kerjasama yang diinisiasi pemerintah setelah Perjanjian Kerjasama Ekonomi Jepang-Thailand

Seminar pertama adalah mengenai jembatan baja yang diselenggarakan pada tanggal 13 dan 14 Oktober. Empat ahli jembatan, termasuk dua yang didatangkan dari Jepang, memberi dua kuliah dengan judul: “Pengantar Jembatan Baja dan Keuntungannya” dan “Garis Besar Jembatan Suspensi.” *Event* yang kedua diselenggarakan pada tanggal 15 Oktober dan merupakan seminar mengenai lingkungan dan konservasi energi, dimana ada dua spesialis dalam bidang ini yang didatangkan dari Jepang untuk memberi kuliah.

Kedua seminar sukses dengan banyak peserta yang hadir. Proyek kerjasama lain yang serupa yang dalam tahap perencanaan adalah sponsorship FBBJ di Jepang untuk seminar mengenai konstruksi struktur baja dan sebuah program magang yang ditujukan untuk insinyur Thailand

Foto: Seminar jembatan baja yang diselenggarakan di Bangkok

Hasil Survei untuk *Steel Construction Today & Tomorrow*

Dari bulan Agustus 2014 hingga Juni 2015 pembaca *Steel Construction Today & Tomorrow* (versi bahasa Inggris) dari luar negeri diminta berpartisipasi dalam survey, sebagaimana dilaporkan dalam Terbitan 42 sampai 44.

Kami ingin mengucapkan terima kasih atas kebaikan hati pembaca kami karena berpartisipasi dalam survei ini. Terima kasih atas kerjasama yang baik karena kami mendapat banyak hasil yang bermanfaat; dan di bawah ini kami sampaikan sekilas.

Jumlah responden adalah 58, terbanyak dari Asia Tenggara. Khususnya, 97% partisipan mengatakan bahwa periodikal ini bermanfaat bagi pekerjaan mereka; dan 88% mempunyai pengalaman menggunakan struktur baja dalam pekerjaannya saat ini

ataupun sebelumnya. Jelaslah bahwa bentuk baja struktural adalah yang paling banyak digunakan di antara material struktur baja lainnya, khususnya di negara-negara Asia Tenggara.

Sementara itu, alasan utama mengapa tidak memilih struktur baja adalah biayanya yang tinggi, diikuti oleh karena keinginan klien. Terkait tema yang diharapkan oleh pembaca di masa depan, pertama adalah jembatan, diikuti dengan konstruksi, jalan bebas hambatan, proteksi korosi, ketahanan gempa dan jalan rel.

Kebijakan kami adalah akan merefleksikan hasil survei ini dengan serius dalam membuat rencana penerbitan kedepannya.

Seminar on steel bridges



Mr. Nattapon Ratanamalee (ISIT)



Mr. Nuttapon Suttitam (ISIT)



Mr. Toru Watabiki (JFE Engineering Corporation)



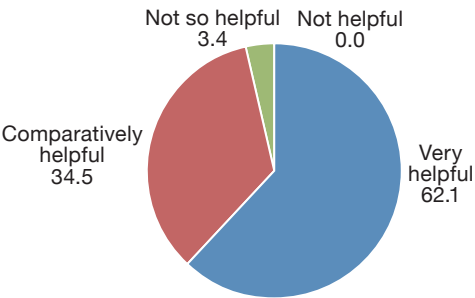
Mr. Hiroyuki Okada (Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation)

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? (%)

