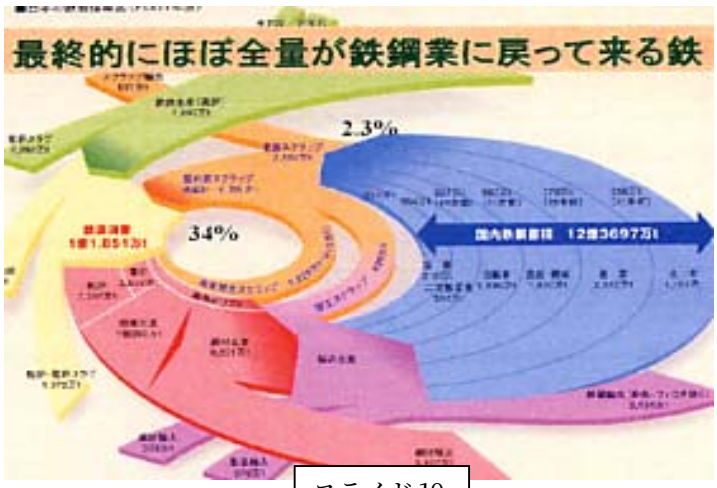
いくというこれがスクラップを回収して，最終的にまた鉄に戻っていくというプロセスの内容です．



スライド 19

（スライド 19）これは鉄がグリーンである特長の１つのまとめですが，これは日本の場合でして，パンフレットの中にもありますけれども，日本においても同じように，先ほどの世界と同じような循環が成立しておりまして，日本の場合には，ちょうど世界の 10 分の１くらいを見ていただければいいのですが，だいたい国内蓄積量が先ほど 120 億トンだったのが，12 億トンくらいあって，これの 2.3%が毎年出てくるというのがスクラップで，それ以外の部分として，今１億トン造っていますから，だいたい 6,000 万トンくらいを，この新しい高炉の鉄鉱石から造って，残りの 34%をこのスクラップから造っているということです．

同じように出てきたものが容器や自動車や造船などとこうなっていくわけですが，だいたいこのくらい使われているということです．例えば容器の場合ですと，１週間とか１カ月くらいですぐに戻ってくるのですが，自動車ですと車検 10 年，最近は車検 10 年が 15～16 年たっても，毎年車検ではなくなったので，もう少し延びていますけれども出てくると．土木の場合は例えば，30 年という耐用年数をピークに，ある仮定した分布の中で発生して，回収されてくるという形です．何年にどのくらい鉄が使われたかというデータがございますので，今後どういうものが出てくるかというのもだいたい予想が付くということになります．

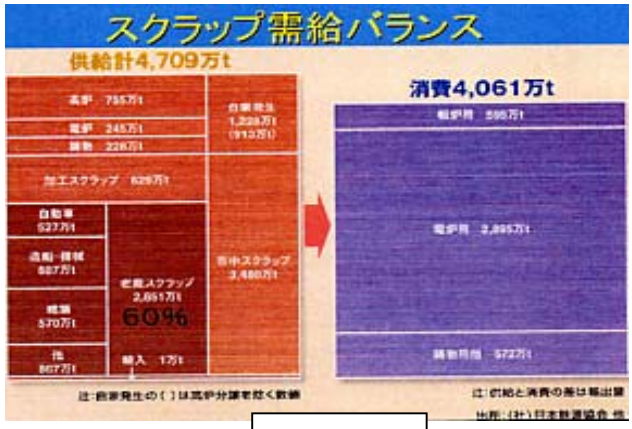
日本の場合，現時点の鉄鋼蓄積が 12 億トンですから，今後だいたい年間 2,000 万トンくらいずつ国内蓄積が増えていくと仮定しますと，ザクッと計算すると全部スクラップで賄うためには，スクラップが自家発生分を除く 8,800 万トン出てくればいいわけですから，2.3 で割り戻しますと，鉄鋼蓄積がだいたい 38 億トンくらいになることが必要で，あと 132 年経つとすべてスクラップで回るというような計算にはなります．

スライド 20

（スライド 20）このように循環している鉄なのですが，いいことばかりではなくて，これを循環させるためには，並々ならぬ苦労がいるということをお話します。先ほどの循環型社会基本法にもありましたように，３Ｒと言われている発生回避，再利用，再生利用といった対策の場合，今回のケースはリサイクルという部類に入ります。優先順位からいくとまず物をあまり使わないで生活しなさいと．使うとしても少ない量で使いなさいと，それからごみが出るように少なくしなさいというリデュースがあって，それからその物を何度も使いなさいと，お古を使いなさいというリユースがあって，それでもだめな場合には，リサイクルという形でマテリアルでリサイクルするか，エネルギーでリサイクルするかとか，ケミカルでリサイクルするといろいろな方法がありますけれども，それがリサイクルという話になってくるのです．

それぞれ限界があるわけです．例えばいくら発生量を少なくしなさいと言っても，人間の体より小さな車は作れませんので，車の大きさというのはある程度決まってしまうし，それからリユースといっても，何百回も使える鋼矢板はありませんので，やはり寿命という問題が出てくる。リサイクルについても，これは劣化という問題がありまして，物が循環すると，その過程でいろいろな不純物を含んでくるという，この不純物の蓄積問題というのがあります．これがリサイクルをやる場合に，非常に重要なポイントになります．

（スライド 21）先ほどのスクラップ需給バランスをもうすこし詳しくみますと，スクラップというのは，だいたい 4,700 万トンくらい出てきて，4,000 万トンくらい消費されている．この差額というのは外国に輸出しているわけですが，まず発生量の方からみますと，だいたい高炉とか自分のところで鉄を造っているところが，自分のところで出てきたスクラップを食べてしまうというのが，だいたい 1,200 万トンくらいです．これは自家発生という，要は歩留まり落ちのものを，自分のところで食べてしまうものです．加工スクラップというのは，いったん外に出たものが，戻ってくるのですが，ファブリケーターさん，橋の箱桁を造ったりといったところでのスクラップで、素性がよく分かっているスクラップなわけです．



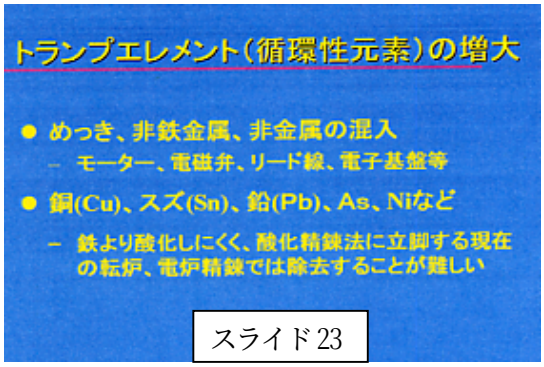
スライド 21

それからもう１つは，下の方の少し色が濃くしてあるところ，これが今回のメーンで老廃スクラップという名前で，何か汚らしそうな名前ですが 60%くらいあります。これは何かというと，例えば自動車や機械やテレビなどといったような，いったんユーザーさんのところへ渡って，寿命が尽きて廃車になったり，解体されて出てくるこういうスクラップですが，この部分が不純物を含んで戻ってくるわけです．上の方というのは，割と素性が分かっていて，きれいなスクラップですが，この６割のスクラップをいかに食べていくかといったところが，重要な課題になります．

（スライド 22）この老廃スクラップは２つの大きな問題がありまして，１つは量が増えるぞと，今後この老廃スクラップはどんどん増えるんだといって，それは特に建設分野から増えるぞということになっています，実は計算すると．今から 10～15 年後くらいまでに，約 400 万トンくらい増えるのではないかなという推計をしているのですが，そのうちの 300 万トンは建設分野から増えて，自動車，機械というのはほとんど行き渡っています

スライド 22

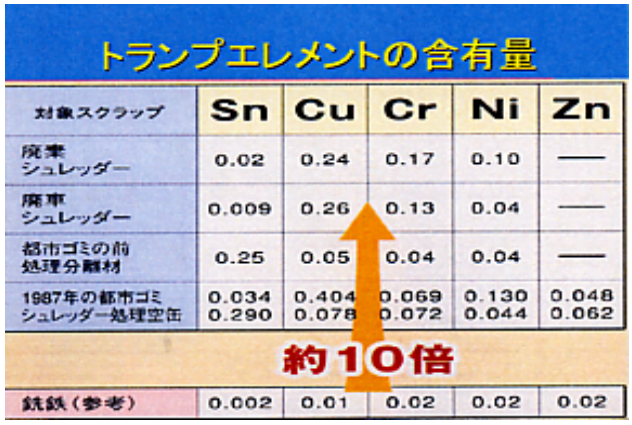
ので，それほど増えません．なぜこんなに増えるかといいますと、30～40 年前くらいに一生懸命建てたビルディングや橋が，今後出てくるのだと，そういう予想をした上での計算です．まさに今後スクラップを回していくのは，建設分野から出てくるスクラップをいかにうまく使って，さらに実を言いますと，後ほどお話ししますが，このスクラップで造った鉄というのは，1 番使っているのは実はやはり建設分野です．結局本日お集まりの方々が，この循環を回していくということがキーになってくるのではないかと考えています．



スライド 23

（スライド 23）次は質の問題なのですけれども，トランプエレメントとちょっと片仮名で書きましたけれども，循環性元素，グルグルグルグル回っているということで，浮浪者という意味らしいのですけれども，鉄の中をあっちこっちうろうろしていて，外に出てこない物質という意味らしいのです．これは銅やスズや鉛とかこういうものですが，なぜ出てこないのという理由ですが，これは熱力学的に書物を読みますと書いてありまして，鉄より酸化しにくいものは，一生懸命酸化しようと思っても，それは取れません．酸素を吹き込んでも鉄の方が酸化されて出てきてしまって，こっちは出てこないという物質なわけです．現在の転炉とか電気炉の精錬というのは，酸素精錬をしているわけですが，現状はこの方法が 1 番効率的で安くてよいですが，この方法である限り，トランプエレメントは取れませんということです．だから，いったん入ったら最後，ずっと居続ける，ならず者と呼ばれる所以です．

なぜこんなものが入ってくるのかと言いますと，先ほどの老廃スクラップ．いったん車になったり，テレビになったり，冷蔵庫になったりといった物の中には，たくさんの不純物が入っています．電子基板や電磁弁やモーターとか，これは大抵銅が入っているわけです．自動車のドアも昔は手でぐるぐる回したのですが，今はピッとボタンを押すとドアがすっと開くようになっていますけれども，全部モーターが付いていると，電磁弁が付いている．こういった世界ですから，これをいかに取らないと，これはどんどん増えていくのだとこういう理屈になります．

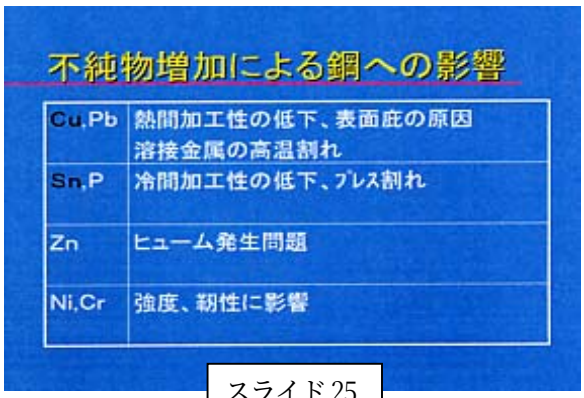


対象スクラップ	Sn	Cu	Cr	Ni	Zn
廃車シュレッダー	0.02	0.24	0.17	0.10	—
廃車シュレッダー	0.009	0.26	0.13	0.04	—
都市ゴミの前処理分離材	0.25	0.05	0.04	0.04	—
1987年の都市ゴミシュレッダー処理空缶	0.034 0.290	0.404 0.078	0.069 0.072	0.130 0.044	0.048 0.062
銑鉄（参考）	0.002	0.01	0.02	0.02	0.02

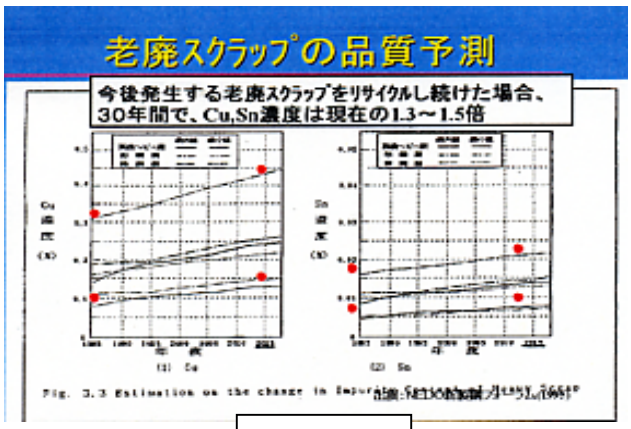
スライド 24

（スライド 24）具体的に少し調べたデータをお見せします．これが最初から鉄鉱石から造ったときの，きれいな鉄の場合ですと，例えば銅ですと 0.01%というものに対して，廃車した後とかを見ますと銅の量というのは 10 倍くらいに増えてくるという形で，世の中いったん出て戻ってくれば，汚れてしまうという，これはさもありなんと言う感じです。

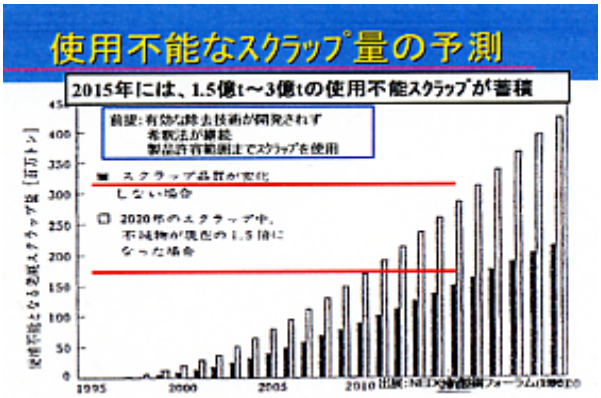
（スライド 25）じゃあ入っていてもいいじゃなかという話なのですが，実は冶金（やきん）屋さ



スライド 25



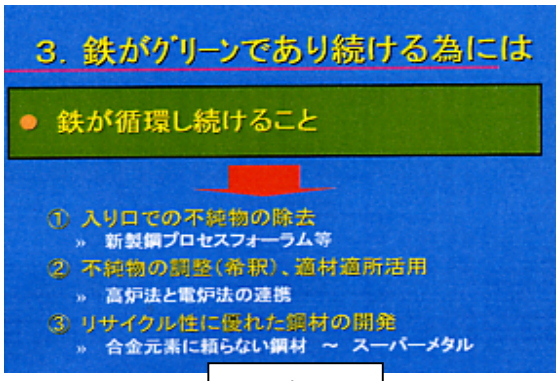
スライド 26



スライド 27

んに聞きますと，鉄というのはいろいろなものを微量元素として入れることによって，よくもなるし悪くもなるというもので，実は微量元素の設計というのは，冶金屋さんの１つのテクニックでして，昔から鉄から金をどうやって造るかと，一生懸命研究した世界と同じなのですけれども，カッパーとかスズが入ってくると，いろいろな悪いことをする．例えば金属の高温割れを起こすとか，特に熱間加工での表面の傷が出るとか，こういった問題が出てくるので，カッパー，スズみたいなものは，いかにしても制御していかなくては，いいものができないという世界になります．（スライド 26、27）ここに２つくらいデータがあるのですが，このデータというのは，かなりショッキングなデータではあります．今のような循環をし続けると，30 年間すると銅とか錫は1.3～1.5 倍ぐらいまで，濃縮してしまうというような問題があると計算した人がいました．そういうことをしていると，今は回っている鉄なのだけれども，将来は鉄が野積み廃棄物になってくるようなことも想定され，１億トンも３億トンも使えないスクラップができると言って脅かしているデータです．こういったことは，起きないと思いますけれども，全然可能性を否定することができないことでもあります．こういうふうに下手をすると，本当に鉄は回らなくなってしまうという危険性もあるということです．

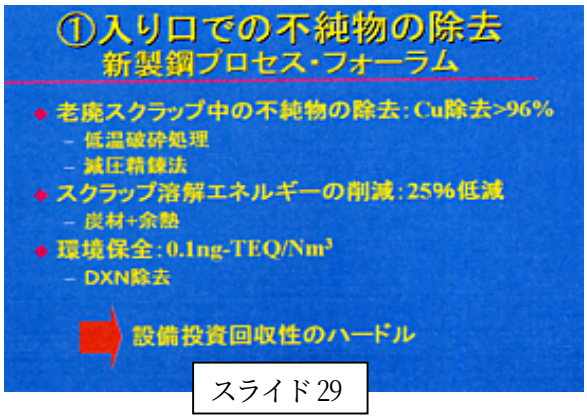
（スライド 28）ではこの対策という話になるのですが，鉄がグリーンであり続けるためには，これは鉄が循環するということがベースとしてなっていない限り，使い捨ての鉄になってしまうと．その方法を３つくらい，ちょっと書いています。１つは入り口で不純物を取ってやろうと，極めて当たり前なのですけれども，そのためには新製鋼プロセスフォーラムという国家プロジェクトが走りまして，先ほどのデータを使って予算を組んでやったわけですが，これはもう終わりました．後ほどその成果をお話しします．



スライド 28

それから，もう１つ将来リサイクル性に優れた鋼材というのがあるのではないかという形で，鉄というのは，いろいろな微量物質を入れることによって，よくも悪くもなるのですが，現状は鉄にいろいろなものを入れて，性能をよくしようという合金を使った鉄なのですけれども，合金に頼らないで鋼材をよくしたいという，スーパーメタルという今走っている国家プロジェクトがあります．

この１番と３番については，まだまだ成果が実現するというには，先が長いのですが，現状ではどうやっているかというと，不純物がたくさんあるものをうまく，不純物があっても使える所には使っていこうと．不純物が多い場合には，きれいな鉄と混ぜながらうまく使っていって，濃縮しないようにやろうと．実体的にはこの方法が将来も残るだろうと考えています．ウイスキーの水割りのようなもので，ロックでは飲まないという



スライド 29

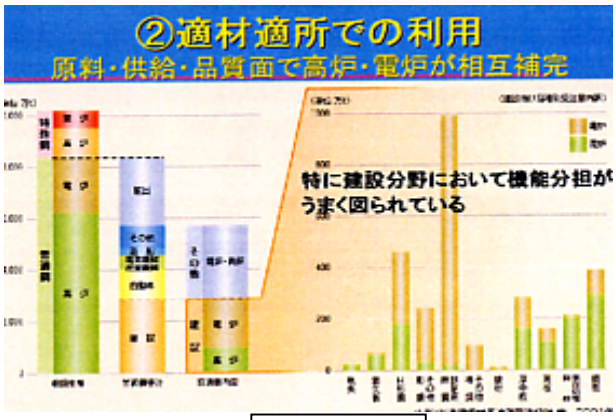
スライド 30

こういうわけです．

（スライド 29、30）１つ目の新製鋼フォーラムの話なのですが，どうやるかというと老廃スクラップ，先ほど言った自動車とか，家電のスクラップ，これをいったん窒素の中に入れて，冷やして．そしてたたくとバリバリと脆性破断するわけですね．そうすると 96%ぐらい取れるよということです．それから先ほどの２番目の方法，今これは現実的にやられている方法ですが，規準値以下への調整，希釈ということで水割りにするわけです．Ｈ２スクラップというのは，ヘビーくずと言いまして，通常スクラップ１トン，１万 2,000 円というときの値段の基準となる条鋼くずと言われているものです．

鉄筋棒鋼は，0.4%くらい以下だったら大丈夫です．そんなに溶接もしないし，中に隠れてしまいます．形鋼は 0.3%くらい以下だったら使える．こういう基準がだいたい各社さん，お持ちです．逆に深絞り用の鋼板，これは何かというと，シーマのような自動車とか，冷蔵庫とか洗濯機とか，ああいうふうにカーブがあるような，しぼるというのは，変形させて，鋼板を加工する技術なのですけれども，それだともう 0.06%ぐらいにならないと割れてしまって使えないという世界です．このスクラップを使っていくためには，当然のことながら先ほどの２つの対策とか，こういう世界で，それもさらにうまく希釈をしなければいけない．

形鋼を，スクラップだけで作ろうと思っても，もう今はすでに作れないという状況になります．普通電炉メーカーさん，あるところでは，例えばこのＨ２スクラップを 50%，新断（高炉やファブリケーターから出る，まだ市場に出ていなくて，汚れていないスクラップ，きれいなスクラップ）を 20%くらい

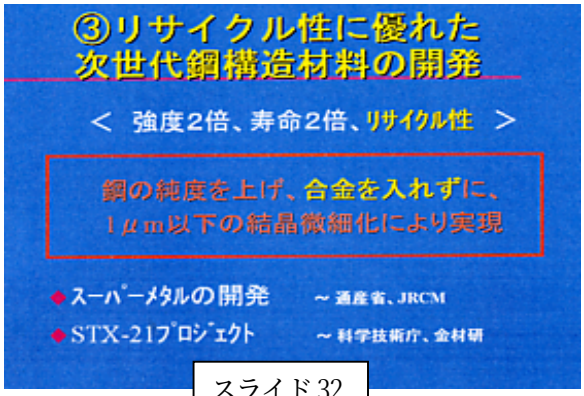


スライド 31

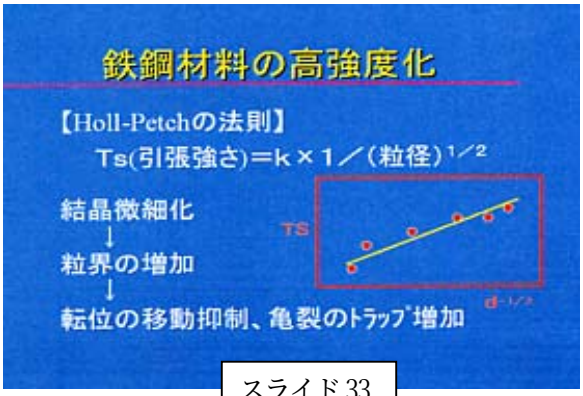
混ぜて，こういう成分にしながら使っていくという方法を行っているわけです．

（スライド 31）現状土木分野，特に建設分野においては，まさにこれがうまく図られていまして，鉄筋というのはもうほとんど 98%くらいが電炉でスクラップを主体に作られています．H型鋼ですとだいたい半分半分くらい．それから逆に厚板とか鋼管といったものですと，まだまだ性能が要求されるので，高炉の成分の鉄が主体です．こういったことで，それぞれ品質面，供給面で，電炉と高炉がうまくバランスしながら，さらにスクラップをうまく使いながら，希釈しながら使っていこうという世界で，循環が回っているという形です．特にこれは，建設分野でもう６割以上が電炉材を使っているという世界からお分かりのよう，うまく機能分担が図られているという状況になります．

（スライド 32、33）３つ目がリサイクル性に優れた，次世代の鋼構造物ができないかという強度２倍，寿命２倍，リサイクル性というううたい文句で，スーパーメタルというのが今走っております．これは鋼の純度を



スライド 32



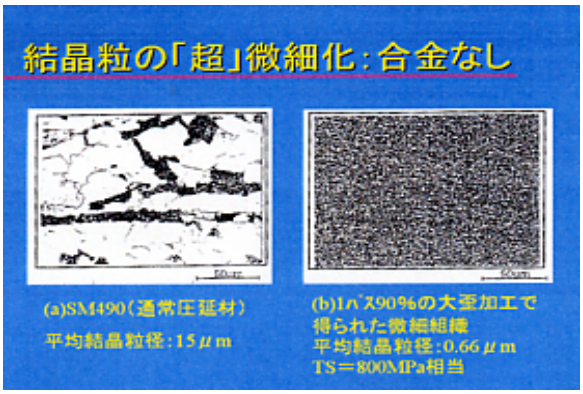
スライド 33

上げて，合金を入れずに強い鋼材を作ってみようというプロジェクトです．

ものの本によりますと，粒径のルートの逆数，要は粒径が小さくなれば小さくなるほど引っ張り強度はどんどん上がっていくという，ホールペッチの法則というのが，あるそうです．これは言ってみれば分かりやすくて，粒径が小さくなれば，粒径の表面積，比表面積が大きくなる．ものが伸びたり引っ張られるときの抵抗というのは粒界の摩擦です．その移動の抑制，それから亀裂が起きたとしても，粒界が多いことによってそれがトラップされるといったことで強度が上がっていくのだということです．

（スライド 34、35）実際に今どこまで来ているかといいますと，通常の，ＳＳこれは 490 材ですけれども，だいたい 15 ミクロンくらいのこういう大きな結晶ですが，今回のスーパーメタルでいきますと，0.6 ミクロン，ほとんど絵にならないくらいになってしまいますけれども，こういったものになりまして，合金を入れていない同じ成分で 490 が，800 メガパスカル相当までの引っ張り強度になる．こういうのに今なっています．

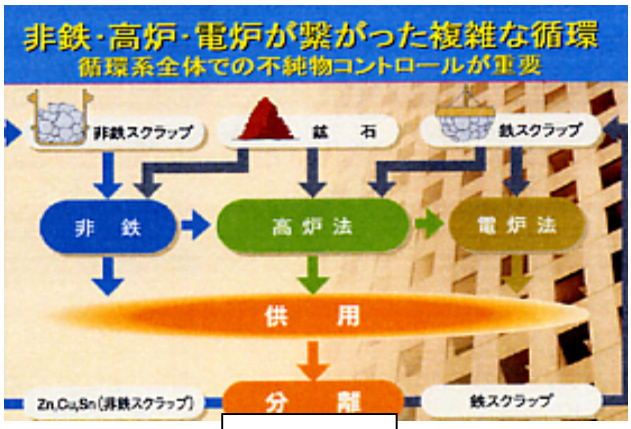
ただこれはまだまだ開発は進んでおりまして，すぐに明日からうちの橋に使いたいとかいう世界にはまだ



スライド 34

なりません．溶接したり，そういうバルク材にするためには，まだまだ時間がかかると，私が会社にいる間にできるかどうかというのは分からないというくらいのレンジではないかと聞いております．

いずれにしても，このような中で，鉄の循環というのは，高炉法，電炉法，さらに非鉄，いろいろなものをくっつけて鉄はできているわけです．この３つが最終的に共用されて，最後に分離してくる，こういうルートを行っていますので，この全体のルートをうまく制御しながらしていかないと回らないという形で，この，非鉄，高炉，電炉が複雑につながった循環であるがゆえに，循環系全体での不純物コントロールが重要であるということに変わりはないということです．

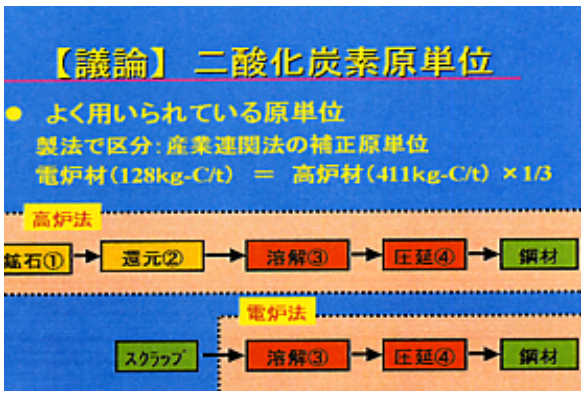


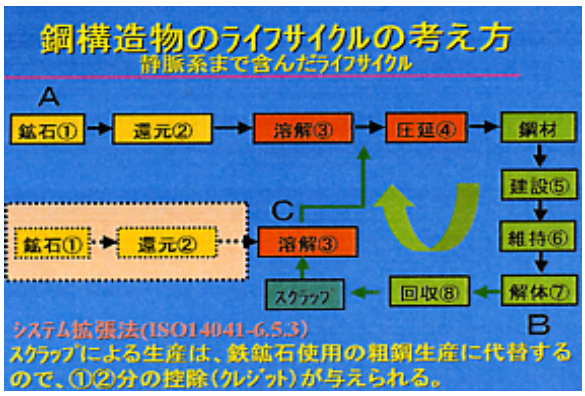
スライド 35

（スライド 36）こういう絵が入っていますけれども，高炉と電炉の絶妙な連携プレーで，無限のアイアンサイクルが生まれます．この絵を見ますと，手をつないで回っているのか，けんかをしているのかという話があるのですが（笑），これは実は手をつないで一緒に回っているという絵です．

スライド 36

（スライド 37）ここからはちょっと議論ですが，よく用いられる原単位で，電炉材は高炉材の３分の１の二酸化炭素負荷ではないかという話で，これはそれで正しいのです．高炉という





のは，先ほど言いましたように，鉄鉱石から還元してこういうふうに作っていくという世界で，特にＣＯ２をたくさん出す還元工程を含んだバウンダリ内で排出するCO_2を鋼材の重量で割りますと，鉄１ｔ当たり炭素換算で 411ｋｇの炭素を排出しています．

一方で電炉法という製造プロセスは，先ほど言った，スクラップを持ち込んで，このスクラップ自身はすでに鉄になっていますから，還元する必要はなくここからはCO_2は出ない．CO_2環境負荷ゼロの原料を使って，

スライド 37

スライド 38

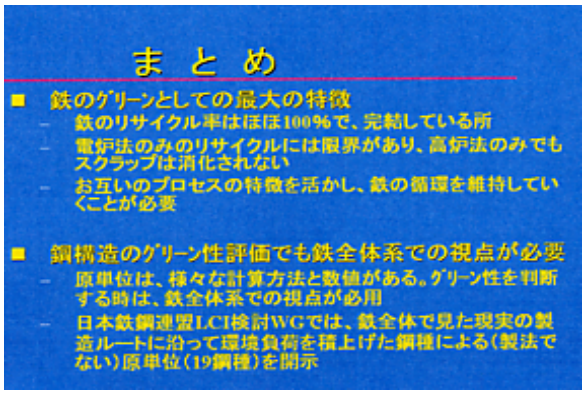
溶解して後は一緒です．この中で発生するCO_2を鋼材量で割りますから，３分の１になるという形で，このバウンダリで見た限り，確かにこれはそういう計算になります．（スライド 38、39）ではこれを鋼構造物に見たときにどう考えるかということで，これはあくまでも我々はこう考えたいということなのですが，実はシステム拡張法というのがＩＳＯの中にあります．今この１番から鋼材までというところで見ますと，先ほど言いましたように，作り方によって環境負荷が違ってくる．そして今日お集まりの方々は，この鋼材を使って橋を造って，それをメンテナンスして，さらに解体して，それを回収して，という話なのですが，通常ライフサイクルは，だいたい解体くらいまでを見てライフサイクルを検討することが多いのではないかと思うのですが，最終的に鉄というのは循環しているのだということを考えますと，この動脈系に対して，原料として戻るという静脈系まで含めてライフサイクルを考えることが鉄の場合可能であると考えるわけです．

構造物で考えた場合，最終的に回収してきたスクラップを野積みにしておいたのでは，それは循環したことにならない．最終的にそれが溶けたということを確認して，はじめて循環しているということが確認できるわけです．スクラップが野積みになっていなくて，溶けて使ってもらえるとなった瞬間に，このＩＳＯのシステム拡張では，スクラップを溶かすことによって，鉄鉱石を還元する部分にあたるエネルギーを，このスクラップが節約してくれていると考えることができまして，このＡからＣまでのライフサイクルを考えた場合，この全体から，このスクラップを溶かした瞬間に，この節約できた環境負荷を控除していい，差し引いていいという話になります．

作りっぱなしで，ごみを捨てるのではなくて，最終的に原料まで戻すのであれば，戻したことが確認できた段階で，あたかも２回分の原料になったと同じことですから，この分を差し引いていいという形です．ライフサイクルもＣまで考えると，最終的にこれを控除されるということが考えられます．そうすると，高炉材がスクラップで戻る場合，戻った瞬間に鉄鉱石の還元負荷に当たる部分が節約され、これを差し引いていいということになりますから，全体の橋梁の環境負荷からは，高炉の還元負荷が控除されるということになります．

逆に電炉がスクラップで戻る場合は，電炉自身が最初から，還元された鉄を使っているという前提できますので，これは戻っても新しく溶けた瞬間にそれを控除するものがありませんので，これは変わらないということになりますから，結果的に高炉と電炉は同じ環境負荷になるという，こういう考え方が成立するのではないかと我々は思って，今研究をしているところです．

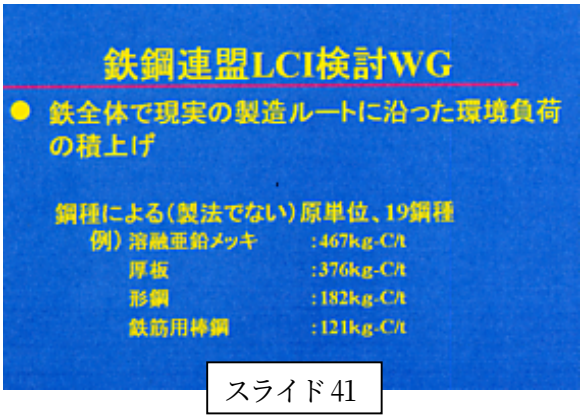
（スライド 40）最後にまとめです．繰り返しになりますけれども，鉄のグリーンとしての最大の特徴は，鉄のリ



スライド 40

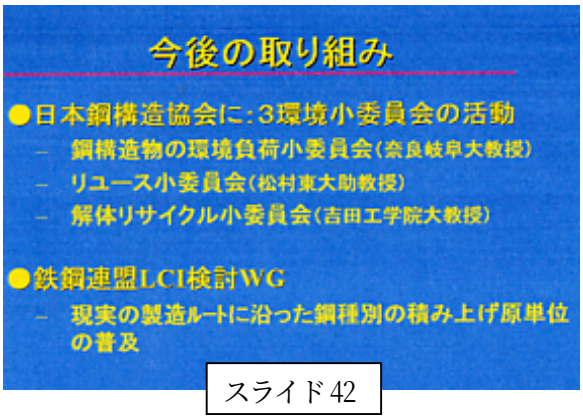
サイクルはほぼ100%完結しているところだと．これをやはり守っていかなくてはいけないということで，これは電
炉法のみでは限界があるし，高炉法でもスクラップは消化
できない．お互いのプロセスを生かして，鉄の循環を維持していくことが必要というのが我々の鉄としての最大の特徴だと考えています．

これを鋼構造で考えた場合にどうかと．鉄というものが再原料として循環が成立しているというものまで視点を拡張して，ＬＣＡを考える必要があるのではないだろうかというのが今回の話です．原単位というのはさまざまな計算方法と数値があって，それぞれの世界で計算するときにはそれを限定として使うことは全然問題ないのですが，このグリーン性を判断する，鉄の場合には，どこまでを鉄のグリーンとして判断するかという形で，我々としては鉄全体系まで含めて考える必要があるのではないかということです．

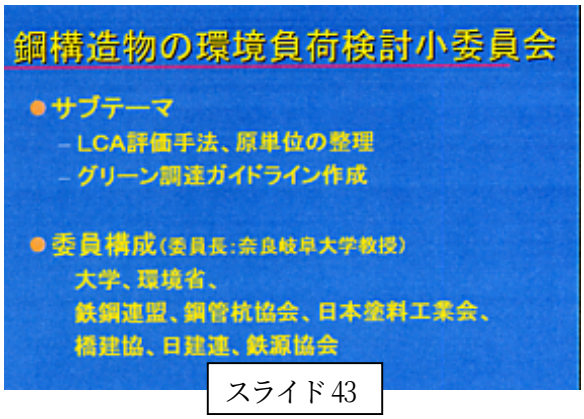


スライド41

（スライド41）日本鉄鋼連盟では，こういうことも踏まえて，今鋼種別の環境負荷のデータを提案しております．それぞれ作り方が電炉



スライド42



スライド43

と高炉のある世界でできていますので，厚板といったらこれ，形鋼でいったらこれ，鉄筋といったらこれというふうに，ここの世界には電炉法だとか高炉法だとかいう話とか，スクラップを使っている，使っていないという区別はなくて，もうすでにそういう世界でものができあがっている，現実の製造実態に沿った環境負荷を積み上げていますので，これをベースにして，さらにシステム拡張したクレジットを考えて計算をする必要があるのではないかと考えています．

（スライド42、43）今後の取り組みですが，今日本鋼構造協会で，３つの委員会が走っております．この鋼構造の環境負荷小委員会，岐阜大学の奈良先生が委員長ですが，今は私はここの幹事をさせていただきまして，いろいろな検討もしています．さらに鉄鋼連盟の，先ほどのＬＣＩのワーキングは，別の人間がやっているのですが，原単位というものと，先ほどのシステム拡張の考え方を今後いろいろ普及していく必要があると考えています．以上です．（拍手）