

八戸、大館、一関の三市提案

「2020年東京オリンピック・パラリンピックのメダルに回収金属を活用することについての提案」  
のフェージビリティに関する調査報告

2016年1月11日

未踏科学技術協会・エコマテリアルフォーラム(会長:原田幸明)

〒105-0003 東京都港区西新橋 1-5-10 新橋アマノビル 6F

(社) 未踏科学技術協会

(窓口) 田口 Tel : 029-859-2668

メール : [ecomaterial@sntt.or.jp](mailto:ecomaterial@sntt.or.jp)

## 要旨

三市提案「2020年東京オリンピック・パラリンピックのメダルに回収金属を活用すること」は、旧オリンピック憲章(1998年版)に基づくメダル性状を仮定しても可能である。

ただし、活用の仕方にはいくつかのレベルがあり、「三市の回収した使用済み小型家電のみでメダル原料とする」ことは不可能であり、また、三市だけでなく日本全国に広げても、回収使用済み小型家電のみでメダルをつくることは現実的ではなく、他の使用済み製品やスクラップも加えることが必要である。

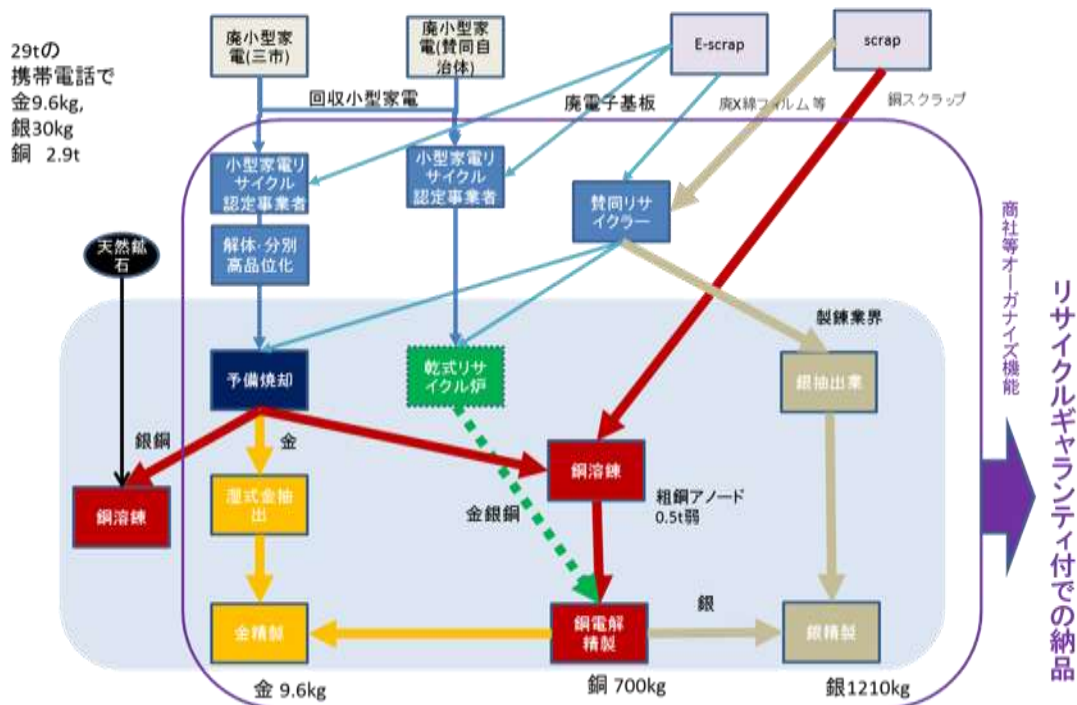
それにより、「**100%リサイクル由来**」の金、銀、銅メダルを製造することは可能である。

また、「えっ!携帯電話から金メダル?」と三市が期待している市民参加として、「**私が出した廃電子製品が金メダルになる**」ことは、金に関しては可能である。

これらを可能とする想定される流れは下図のようになる。

なお、これらを実現するには、トレーサビリティの明確な保証と、その裏付けを可能にするオプションなプロセスの組み合わせが必要になり、ビジネスベースですすめるには、それらを配慮したオプション対価が必要である。

## 100%リサイクル由来の想定される流れ



本文

1. オンピック・パラリンピック メダルについて

オリンピック・パラリンピックで必要とされる金銀銅の量とそれに必要な携帯電話機などの量はすでにリーテム社により下記のように推定されている。

## リーテム試算 (山本教授資料より)

必要なりサイクル金属重量		個数(ロンドン2012授与実績)		メダル1個の組成(g)				
		オリンピック	パラリンピック	金	銀	銅	亜鉛	スズ
金メダル		302	503	6	379	25	0	0
銀メダル		304	503	0	381	29	0	0
銅メダル		356	516	0	0	368.5	9.5	2
合計		962	1522					

上記の情報に基づいて、ロンドンオリンピックの1.2倍の個数で、同等の重さと組成のメダルを製造するときに必要な金属重量を試算した。

	重量(kg)
金	5.796
銀	735.074
銅	437.832

例えば、携帯電話だけで必要な金の量を回収すると過程すると、17.5トン、約17.5万台の廃製品が必要となる。

(kg)	携帯電話	デジタル家電	粗大系家電
金	17,564	231,840	828,000
銀	717,145	3,585,727	5,742,766
銅	4,561	7,297	9,951

ただし、これは団体競技における複数授与が考慮されておらず、環境省リサイクル推進室ではそれを考慮して、以下のように算定している。

### メダルに必要な金属量(ロンドン実績)

	ロンドン2012実績		ロンドン2012メダル組成 (オリンピック憲章1998版準則)				
	オリンピック	パラリンピック	Au	Ag	Cu	Zn	Sn
金メダル	659	675	6	379	25	0	0
銀メダル	649	670	0	381	29	0	0
銅メダル	702	687	0	0	368.5	9.5	2
合計	2010	2032	9.6kg	1,210kg	700kg		

ロンドンオリンピックの組成は、かつてのオリンピック憲章に規定された「メダルは、少なくとも直径 60 ミリ、厚さ 3 ミリでなければならない。1 位および 2 位のメダルは銀製で、少なくとも純度 1000 分の 925 であるものでなければならない。また、1 位のメダルは少なくとも 6 グラムの純金で金張り

(またはメッキ)がほどこされていなければならない。」にもとづいているが、2004年の改定でこの部分は削除され「メダルと賞状の形式はIOCに事前に提出して承認を得なければならない。」のみの表現になっているために、現時点では自由な選択が可能である。例えば、北京オリンピックでは、翡翠が基板材として使用されている。

また、ロンドンオリンピックもメダルはリサイクルで作成との噂もあったが、最終的には Rio Tinto 社によりアメリカ Uta 州とモンゴルの鉱山からすべて得られており、銅メダルに含まれる亜鉛の一部がリサイクル由来なだけである。リオオリンピックは、電子機器由来のリサイクル原料が金銀銅のメダルに含まれていることを掲げ、それをサステナビリティへの貢献としているが、量や比率についての情報は無い。

参考

<http://www.forbes.com/sites/anthonydemarco/2012/07/26/a-closer-look-at-the-olympic-gold-medal/>

<http://www.rio2016.com/en/news/brazilian-mint-to-produce-rio-2016-olympic-and-paralympic-games-medals>

今回の東京オリンピック・パラリンピックのメダルは、現憲章に基づき組織委員会が案を提出して IOC の承認を得るものになるが、この報告書では、ロンドンオリンピックのメダル受賞者数をもとに算定された金 9.6kg、銀 1,210kg、銅 700kg を必要量として検討を進めた。

## 2. 三市の提案

八戸、大館、一関三市の提案は、「2020年東京オリンピック・パラリンピックのメダルに回収金属を活用すること」とシンプルであり、「回収金属だけでメダルをつくること」などの限定された表現にはなっていない。しかし、提案理由に「日本のリサイクル技術を世界に示すことができます」とあげていることから、リオデジャネイロ・オリンピックのメダルと同等程度の「リサイクル由来金属が含有されている」では満足できないものと理解できる。

また、同じく理由に「リサイクルの重要性を周知することができます」とあげていることや、ポスター(現時点では組織委員会の指導に従い開示中止中)に「使用済み小型家電で金メダルを作ろう」と謳っていることから、市民の小型家電リサイクル参画の結果として金メダルへの関与が期待されていると理解できる。

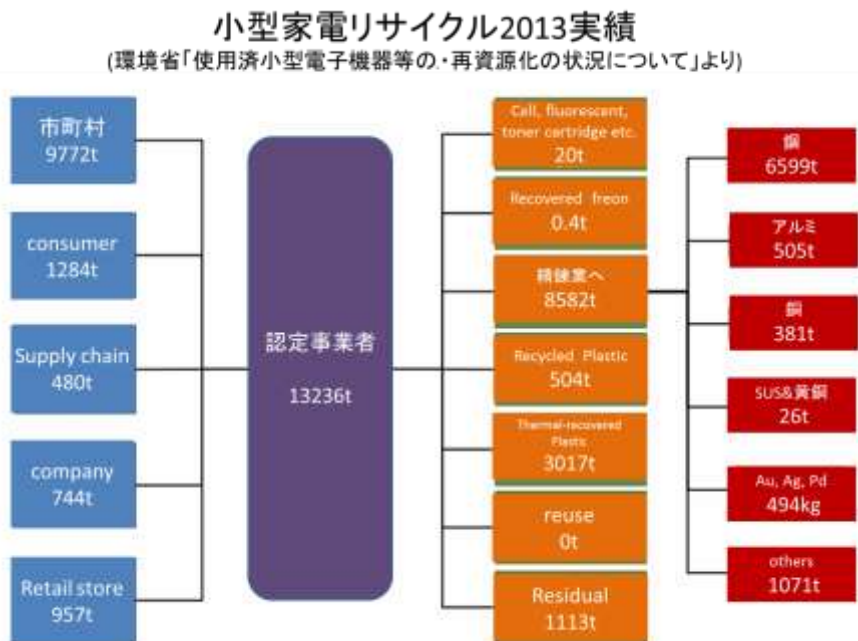
これらのことからして、三市の提案のめざすところは、単に「メダルに回収金属がつかわれる」だけではなく、「100%リサイクルでメダル」「集めた廃小型家電からの金属がメダルになる」とみて、検討を進めた。

なお、同様の検討は、東京都や一部リサイクル業関係でもすすめられているが、今回は一応、三市の提案をベースに調査を進めた。

### 3. 量の面での検討結果

#### a) 小型家電リサイクル由来

小型家電リサイクル法は 2013 年より施行されたが、その 2013 年の実績は下図のようになっており、全国で 13,236 トンが認定事業者の手を経て製錬所などに送られ、銅で 381 トン、金銀をふくむ貴金属で 494kg が回収されている。



さらに、2014 年の実績は大きく膨らんでおり、下図のように金で 143kg、銅で 1112 トンとメダルに必要とされる量を大きく凌いでいるが、銀は 1566kg であり、一応量的には勝ってはいるが現実的な流通は困難と言える量である。

## 小型家電等回収実績

小型家電リサイクル法に基づく再資源化量

	2013	2014
Au	46kg	143kg
Ag	446kg	1566kg
Cu	381ton	1,112ton

環境省リサイクル推進室より

ロンドン実績相当メダルに要する回収量

Ton	携帯電話	デジタル家電	粗大系家電
Au	29	384	1372
Ag	1180	5901	9451
Cu	7	12	16

環境省リサイクル推進室推算

提案3市の実績

Ton	八戸市	大館市	一関市	計
小型家電回収量	35.6	10.3	20.4	66.3



また、三市の年間回収量の総計は 66.3 トンであり、デジタル家電の組成とみなしても金、銀を三市だけで得ることは不可能である。

以上のことから、次のことがまず第一に指摘できる。すなわち、金銀銅メダルを小型家電リサイクル回収品だけから作ることは不可能である。

b) 全スクラップ由来

2014 年の金、銀、銅の受給状況を示す。

金	ton	銀	ton	電気銅	kton	
投入	114	供給	4677	供給	1709	
新産 (50)	57	生産 (396+753)	1792	生産 (1324)	1554	銀鉱石 20349t 1937万円
再生	14	発生	228	輸入	69	銀その他 42t 108万円
輸入	1	輸入	1693	内需	1481	鉱石銀その他相当 753t
私的保有	42	内需	1045	電線	596	
内需	87	写真感光用	231	伸銅品	356	
電子通信機	27	その他硝酸銀	35	その他	22	銅スクラップ kTon
歯科用	8	接点	65	輸出	506	供給
めっき	2	銀伸材	181	在庫差	44	発生
その他消費	9	銀ろう	58			回収
宝飾品	7	その他	475			輸入
美術工芸	1	輸出	3741			内需
メダル	1	在庫差	-55			電線
その他退職	4					伸銅品
私的保有	24					その他
輸出	88					輸出
(内 製品)	17					在庫差

2014年  
貴金属流通統計調査、非鉄金属等受給動態統計  
( )は鉱石由来量  
経済産業省生産動態統計年報 鉄鋼・非鉄金属・金属製品統計編

金は、再生金が 14 トンあるとともに、新産金のうち鉱石由来が 50 トンであるからその差の 7 トンはリサイクル由来と考えられ、21 トンがリサイクル由来と推定される。

銅は高品位のスクラップの供給だけで 602 キロトンであり、銅精錬所による生産 1554 キロトンの中の鉱石由来 1324 キロトンの差 230 キロトン(低品位)と合わせて 830 キロトンがリサイクル由来と推定される。

銀は銅鉱石由来は 392 トンであり、銀鉱石由来分の統計データはないため輸入銀鉱石量とその価格から価格が銀分に相当すると仮定して 753 トンを銀鉱石由来とすると、産出との差 643 トンがリサイクル由来と算定できるが、さすがに誤差が大きいことが予想される。とはいえ最大用途である写真感光用は医療用 X 線フィルムなど 70%はリサイクルされてい

るとされており(JOGMEC マテリアルフロー調査 2012)、それだけでも 165 トンがリサイクルされている。

このように、リサイクル由来まで対象を広げるならば、金銀銅いずれも桁違いに供給可能な量となる。

なお、銀においては、太陽光パネル配線ペーストなどの用途もあるが、まだ廃製品化したものは少なく、廃 X 線フィルムが主たる供給元になるとと思われる。

なお、日本鉱業協会の会員企業の金銀銅リサイクルの実績を同協会資料より抜出し、それぞれの事業所の HP の記載等をもとに備考をつけたものを示しておく。

事業所	処理品目	対象	実績(t)	備考
住友金属鉱山、東予	故銅、銅滓	Cu	89,500	自溶炉
中外鉱業、東京	貴金属滓	Au,Pt	2.46	湿式
エコシステム秋田	廃基板、その他	Cu,Au,Ag	104,545	湿式
小坂製錬	廃基板類、故銅など	Au,Ag,Cu等	23,825	TSL炉
メルテック	一般・産業廃棄物	Au,Cu等	34,138	溶融炉
パンパシフィックカッパー佐賀関	故銅・銅滓・貴金属滓・廃電子部材	Cu,Au,Ag	63,254	自溶炉
日比共同製錬、玉野	故銅、銅滓	Cu	58,584	自溶炉
JX金属環境	貴金属滓、廃電子部材	Cu,Au,Ag 他	38,874	溶融炉
JX金属苫小牧ケミカル	貴金属屑等	Cu,Au,Ag他	653	焙焼
JX金属敦賀	貴金属屑等	Cu,Au,Ag他	11,765	焙焼
神岡鉱業	金銀含有スクラップ	Au,Ag,Pd	4,247	熔錬
三井金属工業、竹原	貴金属類原料	Au,Ag,Cu,Pd	11,223	溶鉱炉
三井串木野鉱山	金銀含有スクラップ	Au,Ag,Pd	5,027	湿式
八戸製錬	写真廃液	Ag	1,219	溶鉱炉
三菱マテリアル直島	故銅・銅滓・貴金属滓・廃電子部材	Cu,Au,Ag,Pt,Pd	104,600	熔錬炉
細倉金属鉱業	鉛滓	Cu,Au,Ag	4,000	溶鉱炉

H27.10「当協会の環境事業の現況について」日本鉱業協会 より抜粋、備考は各事業所Webなどより

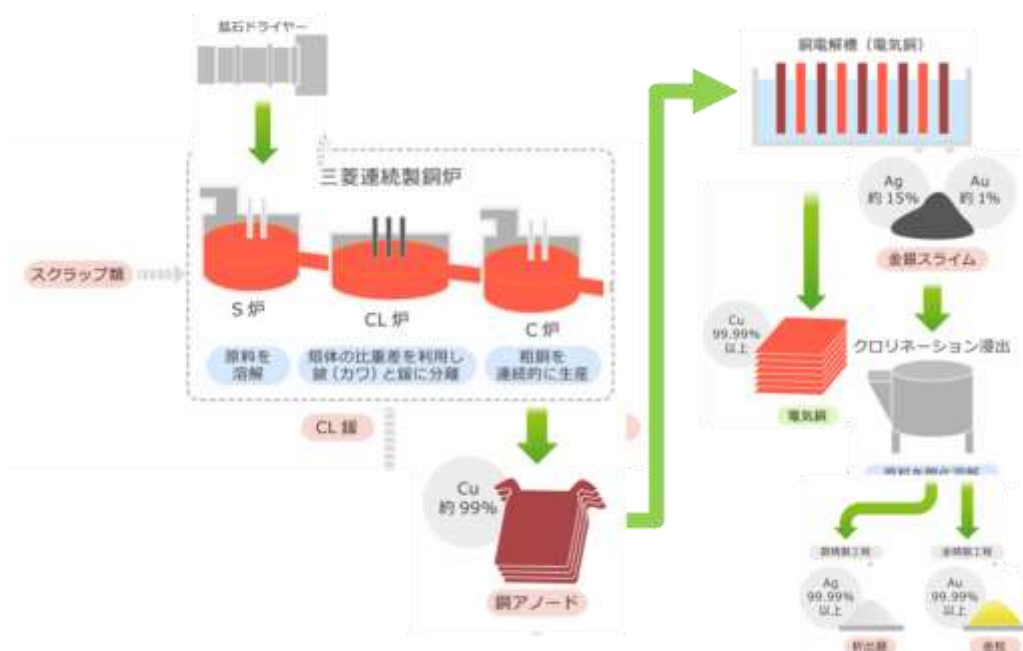
#### 4. 100%リサイクル由来の可能性

一般に用いられる銅精錬プロセスにおける金銀の回収は、まず金銀が溶け込んだ粗銅をつくり、それをアノードに鋳込んで電解精製し、そこで分離した金、銀含有スライムから金、銀を精製するものが多い。

下図は三菱直島のプロセス・フローであり、三菱の特徴として連続製銅炉が使われているが、他社の場合自溶炉、転炉の組み合わせで製錬が行われる。いずれの場合も鉱石に含まれる硫黄を熱源とした炉が用いられる。

### 銅精錬所による金銀回収(三菱直島)

[http://www.mmc.co.jp/naoshima/process/smelting\\_plant.html](http://www.mmc.co.jp/naoshima/process/smelting_plant.html)から配置換え



ここで問題となるのは、連続製銅炉にしても自溶炉にしても、銅源として銅鉱石が原料として用いられる。銅鉱石の中にも金、銀が含まれており、通常の銅製錬プロセスに廃電子基板などを投入しても、そこから得られる金、銀、銅には天然鉱石由来のものが含まれる。 (なお、その場合でも投入原料からその割合はわかるので、リサイクル物含有%の情報を得ることはできる。) なお、実用炉以外の試験設備などによる小型溶融炉を用いて単独に処理する場合は、このような天然鉱石の混入は避けられるが、通常操業とは異なる特殊操業になり実現性は低い。

一方で、金の回収には銅製錬を経ない、湿式法というものがある。これは三井金属串木野鉱山(株)のような青化法や溶媒抽出法というものを用いられる。これらは産業層の廃電子基板のように比較的金濃度の高いものに対して用いられている、この湿式法を用いるならば、天然鉱石を含まない100%リサイクルでの金回収は可能である。 また、電子基板の金メッキから直接金メッキのみを分離する金のマテリアル・リサイクルを行う会社もあり、金メダル



の生産に足る処理実績もある。

## 湿式製錬

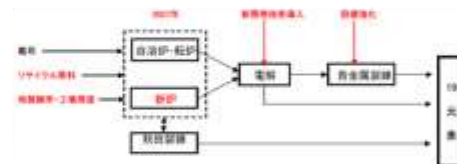


DOWAエコシステム開発会社  
(DOWAエコシステムHPより)



なお、製錬炉を使う場合も、天然銅鉱石をまったく使用しなくとも炉の操作が可能なりサイクルを前提とした炉(TSL炉)もある。しかし、炉況の安定のために天然鉱石を投入する場合もあり、さらにその後の精錬プロセスでの天然鉱石由来の混入も考慮せねばならず、100%リサイクル由来を保証するには、それを意識して天然鉱石をその系統に投入しない極めてオプション的な操作を要求することになる。

## 小坂 TSL炉



DOWAニュース 2005年10月13日「小坂にリサイクル原料対応型の新型炉を建設」より

また、銀については廃 X 線フィルムからのリサイクルのルートがあり、また銅については前述したようにそもそも銅スクラップの再溶解ルートがあるため、それを使うことで100%リサイクル由来は可能となる。

## 5. フローの連続性の検討

### a) リサイクル業→製錬業

現在の小型家電リサイクルは、認定事業者と呼ばれる国で認定されたリサイクラーを通じて行われる。自治体と認定事業者との関係は、入札によって決められ、認定事業者と製錬業者との関係はビジネスとして作られる。それゆえ、ある製錬業者が湿式処理やリサイクル専用炉などリサイクル 100%リサイクル由来を保証できるプロセスを持っていても、そこに、この趣旨に賛同する自治体の回収廃電子機器が投入されるとは限らないことになる。例えば、三市の中でも大館市は認定事業者としてエコリサイクルと契約しており、リサイクルに特化した TSL 炉や湿式抽出に持ち込める可能性があるが、リサイクルに特化した炉もしくは湿式抽出を持つ製錬業者と繋がっていない認定事業者と契約した市で集めた廃電子家電は天然鉱石と混ぜられる可能性のためにメダルにならない危険性がある。

この問題も回避可能性である。例えば JX 系列はリサイクル専用炉を持っていないが、下図のように、廃電子基板に対応する予備焼却炉を持っており、予備焼却して濃縮した金を他の製錬所に回すシステムを持っている。このシステムに、本目的のために自治体から集荷された廃電子基板を投入し、単独で予備焼却すれば、濃縮した金を湿式処理で抽出することができる。



これは、他の系列についても同様であり、多くの製錬所が予備焼却のプロセスを持っており、そこから同一系列の製錬所に送るシステムになっている。すなわち、この予備焼却の段階で湿式処理の製錬所に持ちこむようにすれば、既存のルートで製錬所に持ち込まれた賛同自治体で回収された廃電子機器から天然鉱石の混入なく金を回収することができる。

また、通常の操業形態ではないが、モデルプラント程度の試験設備を用いて、予備焼却したものを小型溶融炉→小型銅電解→金銀含有スライム単独処理、という流れで処理することも可能となる。

なお、予備焼却・湿式処理により金を抽出する場合には、銅製錬炉による処理に対して高品位の金含有原料が必要となる。そのためには、リサイクル業の段階で、解体と選別による高品位スクラップ化を行うことが望ましく、それは技術的には問題はない。

ただし、このような取り組みは一時的なものにしる物流システムに一定の変化を与えるため、商社やコンサルタント会社などオーガナイザーを介した調整機能が必要になるものと思われ、そのためのコストの発生も考えておく必要がある。同時に、100%を目指してトレーサビリティを第一とする場合には採集率が通常ビジネスより落ちることからコスト増加も認識しておかねばならない。また、製造金属の品位保証資格を有することも留意が必要である。

また、この予備焼却・湿式製錬方式により、金はリサイクル由来100%で回収可能であるが、通常システムでは銀、銅は銅精錬所に送って回収することが効率的になるため天然鉱石と混じって処理され、100%リサイクルとは言えなくなるため、メダルには使用できないことになり、「回収した廃小型家電の金のみが金メダルに含まれる」ことになる。

ただし、上記の試験設備を用いた通常の操業形態ではない取り組みをおこなう企業があれば、「回収した小型家電の金銀銅ともにメダルになる」ことも不可能ではない。

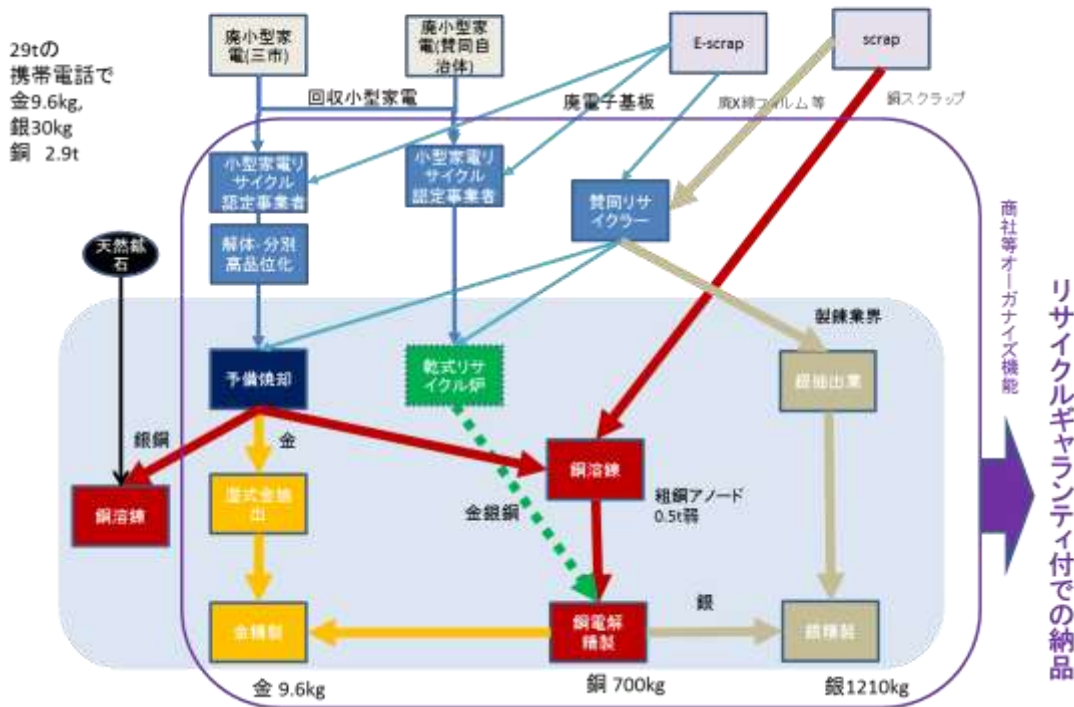
#### b) 自治体→リサイクル業者の関係

自治体が、トレーサビリティ(製錬業への回収物の流れの透明性)をもち、かつ、高品位スクラップ化できる技術を有するリサイクル業者と契約することが、市民参加で収集した小型家電をメダルにする上で重要である。現在は、回収物の買い取り価格の入札方式で行われているケースが多いが、賛同自治体で総合評価方式などを採用することで、引き渡し後の製錬業との連携やそのための高品位化技術などをふくめた判断のもとでの契約を進めることができる。

## 6. まとめ

以上、想定されるルートは、下図のようになる。

### 100%リサイクル由来の想定される流れ



- 1) 三市だけでなく、協賛する自治体をつのる。
- 2) 協賛自治体と契約した小型家電リサイクル認定事業者は、収集された廃小型家電部品の中から、湿式製錬等に適合するように、高品位部品を分別する。
- 3) 小型家電リサイクル認定事業者は、専用リサイクル炉を持つ製錬事業者もしくは、予備焼却から湿式製錬による金回収ルートを持つ製錬事業者と契約する。
- 4) 銀については協賛リサイクラーを通じて主として廃X線フィルムからの回収銀を用いる。
- 5) 銅は予備焼却からの発生物および既存スクラップから銅製錬所のもつバッチ式の熔錬プロセスで粗銅を製造しアノードとして電解精製する(テストプラントなどを利用してアノード銅2枚分程度)
- 6) 2)で予備焼却・湿式製錬の残渣中の銀、銅で通常の銅製錬所に投入するものは天然鉱石と混じるためメダルにしない。
- 7) 3-5)を調整するためにはオーガナイザーの寄与が効果的と考えられる。
- 8) オーガナイザーは品位の保証とともに、リサイクルの保証と参画賛同自治体のリストを付けて納入する。

## 7. 他のオプション

本報告では、「100%リサイクル由来」を第一目標、すなわち A プログラムとして、そのフーズビリティを明らかにしたが、100%にこだわらない B プログラム、C プログラムがある。

### B プログラム

任意の高いリサイクル率を設定した「〇〇%リサイクル由来」

メリット 予備焼却・湿式処理以外に、天然鉱石含有の銅製錬炉を使うこともある程度できる。

ディメリット 1 社会的インパクトが小さい

ディメリット 2 商社機能による調整部分が大きくなる

### C プログラム

現行のままのリサイクル由来含有率を明示し、リサイクル由来含有△△%として提示する

メリット 現行のプロセスのままトレーサビリティだけを明らかにすればよい

ディメリット 1 インパクトはほとんどない。市民も参加した気持ちになりにくい。

ディメリット 2 無償で企業にトレーサビリティ情報の提供を要請することになる可能性がある。

ただし、C プログラムのインパクトを大きくする方法として、リサイクル認証制度を急速に整備して用いる方法がある。すなわち森林認証にみられるように「持続可能なリサイクル」を行っていることを第三者機関により認証し、その認証を受けた会社からのみメダルの原料金属を調達する方法である。ただ現時点ではそのような認証システムは未整備であるため、これを実現するには、急速な認証システムの整備が必要となる。