



A Simple Preprocessing Method using Ion Exchange Resins for the Analysis of Fluoride Content in Gypsum

MANAKA Atsushi*†, SAWAI Hikaru*, TAFU Masamoto*,
TOSHIMA Takeshi* , SERIKAWA Yuka** and CHOHI Tetsuji*

* Functional materials engineering course of advanced engineering faculty, Toyama National College of Technology, 13 Hongo-machi, Toyama 939-8630 Japan

** Faculty of Engineering, Dept. of Environmental Engineering, Toyama Prefectural University
5180 Kurokawa, Imizu, Toyama 939-0398 Japan

(Received June 25, 2010, Accepted October 10, 2010)

A simple preprocessing method to allow the analysis of the fluoride content of gypsum is proposed for use in gypsum board recycling. The perchloric acid distillation method is well established as a method to quantify the fluoride content of gypsum. However, this method is a long, complex operation using hazardous chemicals. As an alternative, we propose a simple preprocessing method, using cationic and anionic ion exchange resins to allow the analysis of the fluoride content of gypsum using a commercially available kit based on the Lanthanum-Alizarin complexone (La-ALC) method. This preprocessing technique results in greatly increased solubility of calcium sulfate coupled with the separation of fluoride contaminants for quantitative analysis. This makes the determination of fluoride in gypsum by the La-ALC method possible because the preprocessing process does not remove the fluoride ionic species. This method is proposed as a suitable technique for on-site fluoride analysis.

Key Words: ion exchange resin, fluoride, gypsum, waste gypsum board

1. Introduction

Gypsum board is commonly used as a house building material and so presents in large quantities when buildings are demolished. In Japan, about three million tons of gypsum board is manufactured every year for building construction. As well, every year about 1.7 million tons of waste gypsum board is generated from demolition work. Most waste gypsum board is sent to landfill sites; hence, the need to recycle¹⁾ is driven by a lack of landfill capacity. Recently, attempts have been made to use waste gypsum board for ground improvement as a roadbed material, a sludge stabilizer or as fertilizer

However, there are difficulties in gypsum recycling related to entrained impurities such as fluorides²⁾ because these impurities cause soil contamination by leaching into groundwater. On-site monitoring of fluoride content is essential for the recycling process of gypsum because the amount of insolubilizing agent for gypsum that prevents leaching of fluoride into groundwater can be estimated from the monitoring data.

A method to measure the content of fluoride has been established; however, the method requires complicated processes such as

dissolution of fluoride into the analytical solution, degradation with perchloric acid and purification by the steam distillation before colorimetric analysis by Lanthanum-Alizarin complexone method²⁾. In order to dissolve and to degrade fluoride in gypsum into the analytical solution, heating process is inevitable due to low solubility of gypsum. Degradation and distillation require hazardous perchloric acid and large-scale apparatus, which is not suitable for on-site analysis.

The use of chelating agents^{3),4)} has been proposed as a suitable pretreatment to increase solubility of gypsum samples for analysis. This method increases the solubility of gypsum in water without hazardous reagents. However, the interference from sulfate ions, which is one of the major components of gypsum, made the practical application of the colorimetric analysis by Lanthanum-Alizarin complexone difficult.

Recently, a simple and rapid preprocessing technique has been devised that greatly increases the solubility of normally slightly-soluble inorganic salts such those present in gypsum⁵⁾ and removes interfering ionic species simultaneously. As noted, gypsum is mainly calcium sulfate, and in the proposed method, the dissolution of calcium sulfate is

†e-mail : manaka@nc-toyama.ac.jp

promoted with cationic and anionic ion exchange reaction as the resins remove calcium and sulfate ions from the solution. (Fig.1). Note that with this method, the concentration of the interfering ionic species of sulfate is maintained low by the ion exchange reaction. On the contrary, most of fluoride remains in solution because of the low affinity of fluorides for the ion exchange resins^{6),7)}.

A simplified preprocessing method to dissolve fluoride in gypsum into solution using ion exchange resin is therefore proposed.

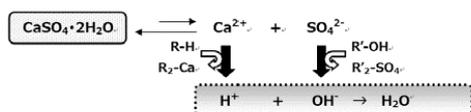


Fig.1 Promotion of dissolution of gypsum by the proposed method. R: Cationic resin, R': Anionic ion exchange resin

To analyze fluorides concentration in the solution on-site, the Digital pack test-multi produced by Kyoritsu Chemical-Check Lab. Corp. is proposed as a simple commercially available method for the purpose of quick analysis.

2. Materials and Methods

2.1 Reagents and apparatus

All chemicals used were analytical reagent grade.

Amberlite IR120B H and Amberlite IRA410B OH (Rohm & Haas Co., Inc.) were used as the cationic and anionic exchange resins. Anhydrous calcium sulfate (Kanto Chemical Co., Inc.) was used as a model gypsum source. Sodium fluoride, calcium fluoride and sodium hexafluorosilicate (Kanto Chemical Co., Inc.) were used as model fluoride impurities. Alfusone® (Dojin Co., Inc.) was used for determination for fluorine content.

A reciprocating shaker (SI-300C, As One Co., Ltd.) was used for sample agitation. A spectrophotometer (Novaspec plus, CE Healthcare Bioscience CO., Ltd.) was used for measurement of the absorbance of Lanthanum-Alizarin complexone (La-ALC). A digital pack test-multi (Kyoritsu Chemical-Check Lab. Corp.) was used as a simple commercially available fluoride analysis method.

2.2 The effect of the amount of ion exchange resins on solubility of gypsum.

Various amount of ion exchange resins (cation:anion=2:1) and 0.06g of reagent gypsum were put in 20ml of distilled water to elucidate the effect of the ion exchange reaction on solubility of gypsum. After the mixture was shaken for 5minutes with 2200rev/min., the amount of exchanged calcium was calculated from the difference between the calcium added as gypsum and that remained in the solution.

2.3 Selectivity of the ion exchange resins

The ion exchange resins to increase solubility of gypsum for determination of fluoride should have the properties that they are exchangeable for calcium and sulfate ions but unexchangeable for fluoride ion. In order to confirm the properties, 0.5g of gypsum was added to distilled water containing 1mg/l of fluoride, and the solution was immersed with 0.16g of cation exchange resin and 0.37g of anion exchange resin. The concentrations of fluoride, calcium and sulfate were measured every 5 minutes. The concentration of calcium ions was measured by chelatometric titration and the concentration of sulfate ions was measured by barium sulfate precipitation nephelometry (JIS K8001).

2.3 Determination of fluoride content in gypsum

The outline of the measurement for fluoride concentration is shown in Fig.2. Aliquots (0.12g) of the reagent gypsum or actual gypsum samples obtained from two different gypsum manufacturers and 0.5g of the cationic and anionic ion exchange resins were put in 20mL of distilled water after adding certain amounts of fluoride. The gypsum content of the actual samples was measured by the standard method (JISR9101) separately. The mixture was shaken for 5 min at 2200 rev/min. The concentration of fluoride in the solution was measured by absorptiometry with La-ALC, the La-ALC method, at a wavelength of 620 nm. The Digital pack test-multi was also used to determine the fluoride concentration to shorten the time for analysis.

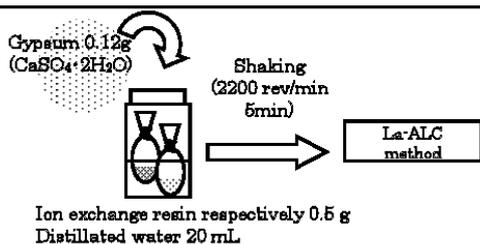


Fig.2 Procedure for the analysis of fluoride in gypsum

3. Results and Discussion

3.1 The effect of the amount of ion exchange resins on dissolution of solubility of gypsum.

Fig.3 is the photograph showing the effect of ion exchange resins on the dissolution of gypsum. The solution with ion exchange resins (A) was transparentized within 5 min. while the solution without resins (B) was remained turbid. Fig.4 shows the change in dissolution of the reagent gypsum according to the amount of the ion exchange resins. The solubility of the reagent gypsum increased proportionally to the amount of ion exchange resins.

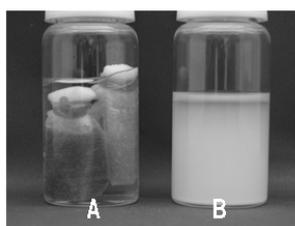


Fig. 3 Dissolution of reagent gypsum
 A : distilled water 20mL + gypsum 0.5 g (with ion exchange resin)
 B : distilled water 20mL + gypsum 0.5 g

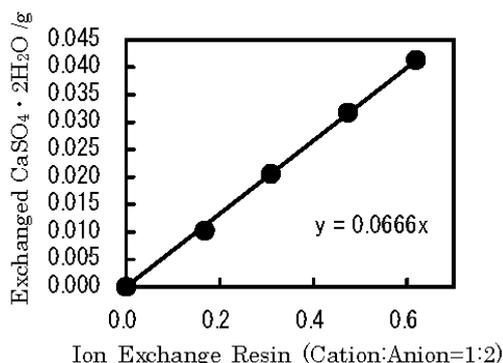


Fig.4 Reagent gypsum solubility vs. amount of ion exchange resin (20mL distilled water, 2200 rev/min, 5 min agitation)

3.2 Selectivity of the ion exchange resins

Fig.5 shows the time course of concentrations of calcium, sulfate, and fluoride ions. The concentrations of calcium and sulfate ions decreased with time, while the concentration of fluoride ion remained constant. It was confirmed that the resin does not adversely affect the measurement of fluoride concentration.

3.3 Determination of fluoride content in gypsum

The determination of the amount of fluoride in the reagent gypsum (200–1000 mg kg⁻¹) was examined using the proposed method. The results are shown in Fig. 6 and Table 1.

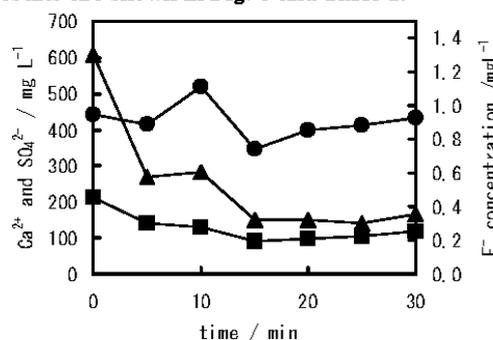


Fig.5 Time course of the concentrations of calcium, sulfate and fluoride after the ions were contacted with ion exchange resins.
 Fluoride solution: 1mgL⁻¹ (20mL), Anion ion exchange resin:0.37g, Cation ion exchange resin:0.16g ●:F⁻, ■:Ca²⁺, ▲:SO₄²⁻

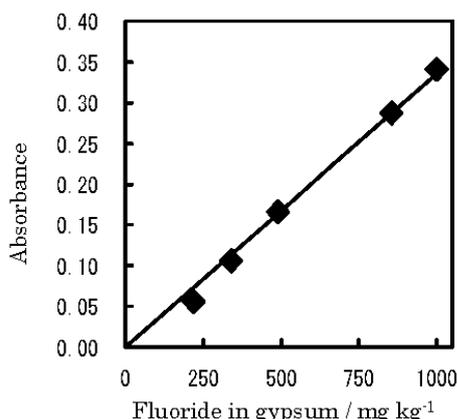


Fig.6 Calibration curve for cationic and anionic ion exchange resins (0.5g distilled water 20mL, sample 0.12g, 5min agitation, 2200rev/min)

Table 1 Relative Standard Deviation

Concentration (mg kg ⁻¹)	R.S.D. (%)
1000	3.09
100	4.58

The calibration curve obtained has a relative standard deviation (R.S.D.) (based on 8 samples) at 1000 mg kg⁻¹ and 100 mg kg⁻¹ of fluorine was 3.09%, and 4.58%.

A recovery rate of ≥90% was achieved when measuring actual gypsum samples as shown in **Table 2**. Although initially sodium fluoride was added as a model fluorine source, similar results were obtained when other fluoride compounds (calcium fluoride and sodium hexafluorosilicate) were added.

Table 2 Analytical results for chemical gypsum

Sample	Fluoride mg kg ⁻¹			Recovery*
	Content	Added	Detection	
No.1	193	208	381	95
No.2	2094	995	2802	91

* Recovery = Detection / (content + added)

Results from the digital pack test-multi are shown in **Fig.7**. The linear line indicates the theoretical fluoride concentration against fluoride content in the gypsum when 100% of fluoride is transferred from 0.12g of gypsum to the 20mL of solution. All of the data plotted around the theoretical line indicate that the method using ion exchange resins combined with the digital pack test-multi for determination of the fluoride concentration had a sufficient accuracy for this purpose. It should also be noted that the total processing time was significantly decreased, from 65 to 15min.

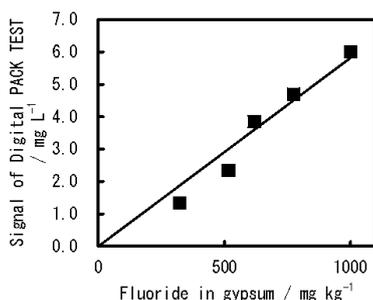


Fig.7 Results from commercial method (cationic and anionic ion exchange resins 0.5g distilled water 20mL, sample 0.12g, agitation 5min, 2200 rev/min)

4. Conclusion

The solubility of gypsum can be greatly increased in a short time by using the ion exchange resins. An additional benefit is that the sulfate ions (from the principal component of gypsum), which interfere with the analysis, can be simultaneously removed from solution. This allows the La-ALC method to be used for the determination of the fluorine content of gypsum.

The proposed method is expected to be highly practical as a pre-analysis technique allowing for the on-site analysis of fluoride in gypsum. The determination of the fluoride content with a simple commercially available analysis method also showed a high accuracy, indicating that this method could be a promising methods to determine the content of fluoride in gypsum on-site.

Acknowledgment

This study was supported by Grants-in-Aid for Scientific Research for Waste Management from the Ministry of the Environment, Japan (K2003 and 2165).

References

- 1) Ministry of Environment, (2002), The report for promotion of recycling of waste gypsum board, 7-10.
- 2) Nakayama, N., Machinaga, O. and Aoyama, Y.; Determination of fluoride in gypsum by the alizarine complexone photometric method and ion chromatography, *Bunseki-Kagaku*, **43**, 241-246, (1994).
- 3) Choji, T., Tafu, M., Fujita, T. and Hada, J.; Patent 2006-292407 (2005).
- 4) Tafu, M., Chohji, T.; Chemical equilibrium approach to dissolving phosphogypsum for agricultural application, Proceedings of TJCST2005, 163-167,(2006).
- 5) Nishino, T., Recovery of Phosphoric Acid from Waste Phosphate Sludge by Dissolution Using Ion Exchange Resin, *Journal of the Japan Society of Waste Management Experts*, **5**, pp.202-208, (1994).
- 6) Inoue, K., Kuriyama, M., Ohto, K., Oshima, T., Furuta, S. and Makino, K., Adsorptive removal of fluoride by hydroxyapatite prepared from spent mold gypsum, *Kakoronbunshu*, **30**, pp.206-210, (2004).
- 7) Nishino, T., Dissolution of Sparingly Soluble Inorganic Compound to Aqueous Suspension with Ion Exchange Resin (Part1) -Hydroxyapatite-, *J. Ceram. Soc. Jpn.*, **96**, pp.825-830,(1988).

小特集 古くて新しいセッコウ

廃セッコウボードの建設汚泥固化材へのリサイクル*

—現状と課題—

袋布 昌幹・丁子 哲治**

1 はじめに

セッコウボードは建設材料として長年にわたり用いられてきた機能性建材である。セッコウボードはアメリカで20世紀初頭に発明された内装材であるが、海外では天然に産出されるセッコウを原料としたのに対し、日本ではリン酸、フッ酸、チタン製造や排煙脱硫などのプロセスに伴って副生した化学セッコウを原料として利用している。これは、各種産業で発生する廃棄物の有効利用法として極めて大きな効果を挙げており、セッコウボードが「リサイクル製品」と呼ばれるゆえんである。

日本の建設物は欧米と比べて比較的寿命が短く、多くの建設物は建設後数十年で解体される。その建設物の内装に用いられているセッコウボードも例外ではなく、現在毎年約150万tの廃セッコウボードが廃棄物として発生し、その多くは利用されことなく最終処分場で埋立処分されている。

このように建設に伴って発生する廃棄物の削減の要求を受け、平成12年(2000)に建設工事に係る資材の再資源化等に関する法律(建設リサイクル法)が制定された。一方、セッコウボードについても平成18年(2006)より廃セッコウボードは高コストを要する管理型最終処分場への埋立が義務づけられたことから、廃セッコウボードを回収してリサイクル活用するビジネスが全国各地で展開されている。特に廃セッコウボードを建設汚泥の固化材としてリサイクルする技術に注目が集まっている。

本稿では、廃セッコウボードの建設汚泥固化材へのリサイクルの現状と課題を概説し、筆者らが最近進めている研究内容について解説する。

2 廃セッコウボードの現状

セッコウボードは、建築物の内装および防火材として広く用いられている。日本の家屋の寿命はおよそ30年であるため、建築物に組み込まれたセッコウボードも30年前後で建設廃棄物となる。一方建設工事に発生する端材も廃棄物となるため、解体工事と建設工事で発生する廃セッコウボードをそれぞれ「解体系」「新築系」と呼んでいる。

図1に(株)石膏ボード工業会がまとめた廃セッコウボードの発生量を示す。廃セッコウボード量は年々増加し、平成19年(2007)では年間約150万tとなった。さらにその量は5年先に年間200万tに達すると予想されている。その中で新築系が占める量は年々わずかに減少しており、増加する廃セッコウボードの大半は解体工事に伴って発生する解体系である。このような現状を受けて、環境省と石膏ボード工業会は平成22年(2010)に解体系の廃セッコウボードのリサイク

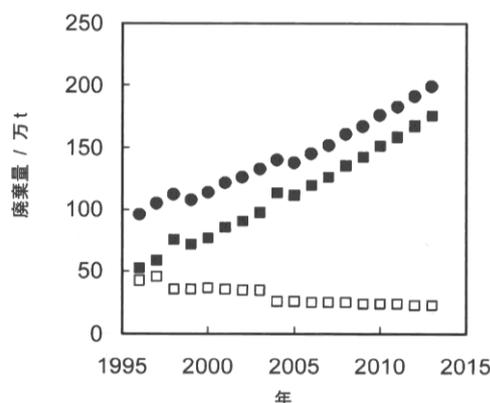


図1 廃セッコウボードの発生量とその内訳 (株)石膏ボード工業会のデータより作成)
●: 総排出量, □: 新築系, ■: 解体系

* Recycle of Waste Gypsum Board for Utilization of Construction Sludge

** Masamoto TAFU and Tetsuji CHOJJI

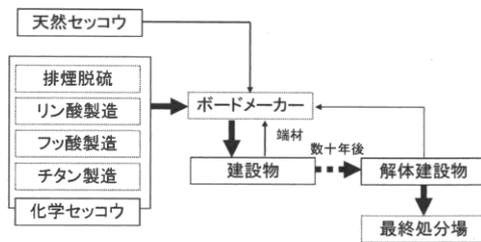


図2 セッコウボードのマテリアルフロー

ル率を20%にまで高める数値目標を設定した¹⁾。

図2にセッコウボードの製造から廃棄に至るマテリアルフローの概略図を示す。日本ではセッコウボードの原料の多くは各種化学産業や発電所の排煙脱硫プロセス等で副生する化学セッコウである。数年来の原子力発電所を巡るトラブル、地震による運転停止により、火力発電所の稼働率が大きくなった結果、排煙脱硫セッコウの発生量が飛躍的に増大している。廃セッコウボードを単にセッコウボードの原料としてリサイクルできたとしても、それは現在セッコウボードの原料として利用されている化学セッコウの利用先を失い、結果として別の部分で廃棄物を発生させてしまうことが危惧される。

現在廃セッコウボードを用いてセッコウボードや各種機能性材料を製造する研究^{2)~4)}が行われている。また、セッコウ中のカルシウムおよびイオウを利用した土壌改良剤や肥料としての利用、セッコウの硬化性を利用した固化剤への利用などの技術を総合して、廃セッコウボードのリサイクル率の向上を図ることが求められている⁵⁾。

3 建設汚泥リサイクルへの廃セッコウボードの利用

セッコウは硫酸カルシウム二水和物 ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) であり、加熱すると結晶水を失って半水塩である焼セッコウ ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$) となる。一方、焼セッコウを水と混練すると二水和物への転化により硬化する。このセッコウの固化特性をいかし、廃セッコウボードを建設汚泥のリサイクルに用いる固化材として利用する動きがさかんである。建設汚泥とは、地下鉄工事等の建設工事に係る掘削工事に伴って排出されるもののうち、含水率の高い粒子が微細な泥状のものを指す。

建設リサイクル法の制定に伴い、建設工事や解体工

事に伴って発生する廃棄物のリサイクル率は大きく向上した。特にこの法律において一定規模以上の工事において再資源化が義務づけられたコンクリート、コンクリート・アスファルト、建設資材、建設発生木材のリサイクル・削減率はいずれも90%に達するレベルにまで改善された⁶⁾。しかし、建設汚泥のリサイクル率は未だに低く、最終処分される建設廃棄物全体の40%が建設汚泥である。建設汚泥は化学的に有害な物質を含んでいないことが多く、単に泥としての性状をもっているため、運搬、保存、再利用が極めて困難となっている。たとえば、建設汚泥を乾燥させると一見土のような性状を示すように見えるが、再度雨などで水を含むと再泥化する。しかし、固化材を添加して土のような形態に転換できれば再生土として利用が可能であると期待される。そこで、国土交通省と環境省では、平成18年(2006)に建設汚泥を再生土としてリサイクルする方法に関するガイドラインを制定し、リサイクルの推進を後押ししている^{7),8)}。

建設汚泥を再生土にするためには、固化材を添加して、泥に含まれる微細な粒子を団粒化させる必要がある。固化材としてセメントを用いることもできるが、固化した再生土がアルカリ性になること、一部のセメントに含まれている六価クロムが再生土から溶出することによる、再生土を施工した土地の土壌汚染の事例⁹⁾が報告されており、セメントに代わる固化材として、セッコウを主成分とする固化材に関心が集まっている。

セッコウを建設汚泥に添加すると、数分で固化する。また固化体のpHは中性付近であるので、セメントのもつ種々の課題を克服することができる。セッコウは水に若干溶解するため、再生土が水を含むと再泥化する可能性があるが、これについては高分子凝集剤や他の無機物質を添加するなどの対策を施すことにより、固化材として利用できる。図3に筆者らの研究グループで行ったセッコウ系固化材を用いた建設汚泥固化実験の一例を示す。図中aにあるような含水率の高い泥が、固化材の添加により数分で図中bのような土のような性状を示すようになることがわかる。

建設汚泥リサイクルに用いる固化材に利用するセッコウ原料は安価であることが望ましい。そのため、廃セッコウボードを粉砕、加熱処理して製造されたリサイクルセッコウの利活用に関心が集まっている。廃セッコウボードから製造した固化材で建設汚泥を再生土としてリサイクルできれば、廃棄物同士でリサイクル技術を構築できるため、事業そのものが環境技術の優

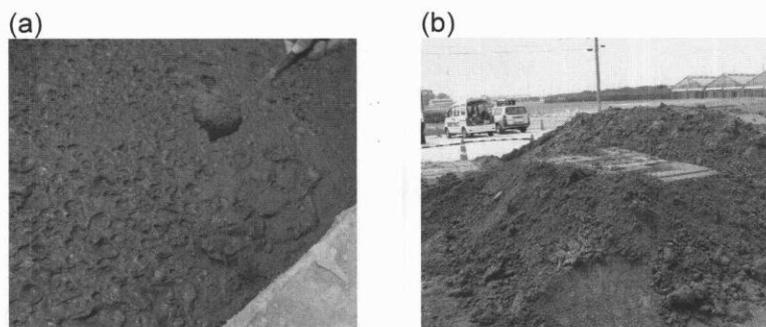


図3 セッコウ系固化剤を用いた建設汚泥のリサイクル
a: 処理前の建設汚泥, b: 固化剤を用いて固化させた再生土

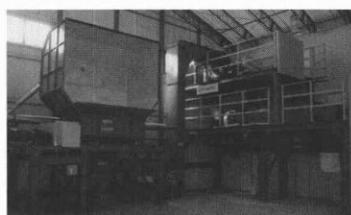


図4 廃セッコウボードの破碎分離装置
(渡部工業㈱より提供)

等生となりうるものが期待される。

このような背景により、廃セッコウボードを原料とした建設汚泥リサイクルビジネスが、全国各地の企業によって実施されている。また、土木工学の分野ではセッコウを用いた建設汚泥のリサイクルについて、その強度評価等に関する報告がある¹⁰⁾。

一方、セッコウボードはボード用原紙の間にセッコウのスラリーを流し込んで硬化させたものである。そのため、固化材としてリサイクルするためにはセッコウと紙をはく離させることが必要となる。図4にはく離装置の一例を示す。なお、分離された紙は再度紙の原料としてリサイクルされる。この事例は平成19年度の循環型社会・環境白書で建設廃棄物の良いリサイクル事例として紹介されている¹¹⁾。

4 廃セッコウボードリサイクルの課題

上記の廃セッコウボードを原料とした建設汚泥リサイクルに問題はないのであろうか。

廃セッコウボードに関する問題で広く知られているものとして硫化水素に関する問題がある。これは最終

処分場に埋め立てられたセッコウボードから硫化水素が発生するものであり、作業員に死者が出た事例もある。硫化水素は、セッコウの溶解に伴って発生した硫酸イオンを硫酸還元菌が周囲の有機性廃棄物とともに代謝することによって発生する¹²⁾。この問題を解決するため、有機化合物の供給源の一つであるセッコウボードに付着している紙をはく離する操作が行われている。また、セッコウからの硫化水素の発生は、周囲の土壌によって大きく影響を受け、特に鉄を含む土壌においてはその発生が抑制されることが明らかとなっている。そこで、セッコウ中に酸化した鉄粉を添加することにより、発生した硫化物イオンを硫化鉄として不溶、安定化することができる¹³⁾。建設汚泥のリサイクルにおいても、この種の手法を用いて、硫化水素の発生の抑制が必要であると考えられる。

建設汚泥および廃セッコウボードが建設・解体現場から発生する際には廃棄物として取り扱われる。しかし、それから製造された再生土を施工した土地は、土壌汚染対策法の適用を受ける。そのため、廃セッコウボードを建設汚泥のリサイクルに適用する際には、セッコウ中に含まれる種々の化学物質が周囲の土壌に溶出することに関心を払う必要がある。

廃セッコウボード中には種々の化学物質が含まれている。これは、セッコウボードが様々な化学産業によって副生したセッコウを原料としているためである。たとえば、排煙脱硫プロセスの場合、燃料として用いる石炭中に含まれる種々の化学物質が燃焼排ガス中に移行するが、脱硫プロセスにより、二酸化硫黄に加えてこれらの化学物質がセッコウとして取り込まれる。廃セッコウボード中の化学成分で、土壌汚染対策法の基準をクリアできない化学物質にフッ素化合物がある。

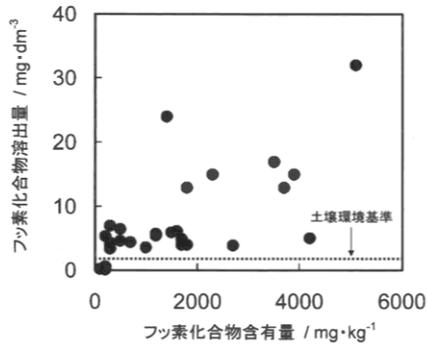


図5 各種セッコウ試料中のフッ素化合物含有量とフッ素化合物溶出量の関係(引用文献14のデータを用いて作成)

図5に全国各地で採取した廃セッコウボード試料に含まれるフッ素化合物の含有量と、汚染土壌の溶出量評価試験である環境省告示第46号(環告46号)試験によってセッコウ試料から溶出したフッ素化合物量の関係¹⁴⁾を示す。図より、セッコウ試料からのフッ素化合物溶出量は土壌汚染対策法の規制値である $0.8 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ を超えることがわかる。

以上より、廃セッコウボードを建設汚泥の固化材に使用する場合、セッコウ中にフッ素化合物が高濃度含まれていると、製造した再生土から基準を超えるフッ素化合物が溶出し、施工した用地の土壌が汚染される可能性があるといえる。土壌が汚染された用地の他の用途への転用、または用地を担保とした融資を受けるためには、汚染物質の除去や不溶化などの溶出防止(封じ込め)を施す必要がある。このような処置は非常に高いコストを必要とすることから、多くの用地が何の手立ても講じることができない土地(ブラウンフィールド)として放置されている。廃セッコウボードのリサイクルにより、用地をブラウンフィールドにすることは決して許されない。

いくつかセッコウ中のフッ素化合物の存在状態に関する報告^{15)~17)}があるものの、建設汚泥の固化材の開発に関して、セッコウ中のフッ素などの不純物に関してはほとんど着目されていない。これは建設分野や廃棄物を扱う民間企業レベルで開発、実用化が行われており、セッコウを扱う材料科学を専門とする研究者がこの問題に関わっていないためであると思われる。

5 セッコウ中フッ素化合物の対策技術

筆者らは15年前から環境中のフッ素化合物に関す

る研究を進めている。当初は中国における地下水のフッ素汚染の調査・対策技術開発であったが、日本でフッ素化合物に関する規制が強化されたことを受け、フッ素化合物の高度処理技術などの研究開発を進めている。そのなかで、セッコウ中のフッ素化合物に関する問題についても検討を進め、セッコウ中フッ素化合物の対策技術開発を行ってきた。本項ではその開発経緯について述べる。

フッ素化合物は、飲料水や食品を通して私たちの体内に取り込まれる。微量のフッ素化合物の摂取は虫歯の予防につながるなど、健康にプラスの効果がある。しかし、過剰なフッ素化合物の摂取は歯に斑点が生じる「斑状歯」や骨の成長異常などの健康影響を生じる¹⁸⁾。また、体内に取り込まれたフッ素化合物は血管内を循環して最終的には尿として体外に排泄されるが、その一方骨や歯などの硬組織に蓄積され続けている。

筆者らは歯や骨にフッ素化合物が蓄積されることに着目し、これを利用したフッ素処理技術の開発を進めてきた。歯や骨にフッ素化合物が蓄積されて生成するフッ素アパタイト(FAp, $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$)は溶解度がきわめて低く、フッ素に対しての溶解度は $0.1 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ を下回る。そのためこれまで工業廃水中のフッ素化合物の高度処理などに活用されてきたが、FApは溶液中において過飽和状態で存在しうることから、フッ化物イオンを含む廃水にカルシウム塩とリン酸塩を添加してFApを生成させようとすると、過剰な薬剤添加が必要になる¹⁹⁾。

一方、リン酸カルシウム塩は水溶液中でより溶解度の低いリン酸カルシウムに転化する性質がある²⁰⁾。FApは極めて溶解度の低いリン酸カルシウム塩であることから、リン酸八カルシウムなどを用いて水中のフッ素化合物をFApとして固定させることができる²¹⁾。

筆者らは食品添加物や歯磨き用の研磨剤として用いられているリン酸カルシウム塩であるリン酸水素カルシウム二水和物(DCPD, $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)がFApに転化する反応^{22),23)}に着目した。この反応は1970年代に歯のう蝕予防で行われる「フッ素塗布」で生じる反応として研究されている。この反応を環境中の微量フッ素化合物の固定・不溶化に適用し、地下水、大気など環境に含まれる数十 $\mu\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$ という極微量のフッ素化合物をFApとして定量的に固定される^{24)~27)}ことを明らかにした。この反応をリン酸セッコウ中のフッ素化合物の不溶化に適用したところ、図6に示すよ

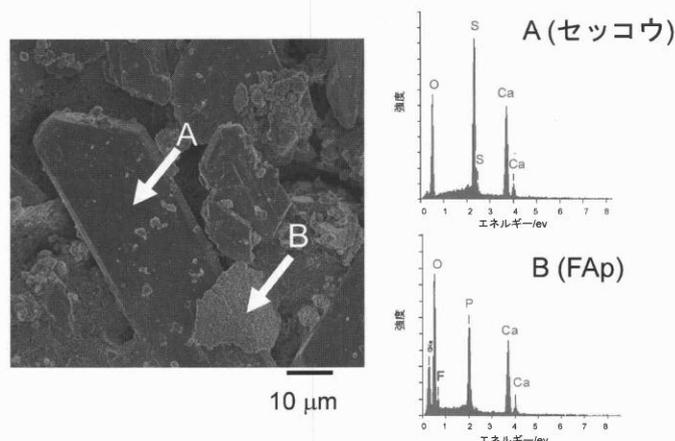


図6 DCPD添加によりフッ素化合物を不溶化したセッコウ試料のFE-SEM像およびEDXによる組成分析結果

うに、セッコウ中のフッ素化合物をFAPとして固定・不溶化できることがわかった^{28),29)}。この反応を用いれば、廃セッコウボードを用いた建設汚泥固化材からのフッ素化合物の溶出を抑制できることが期待される。

このシーズを実用化するため、セッコウボードメーカーのチヨダウテ㈱と筆者らにより、NEDOからの支援を受けて研究を進めている。これまでに、DCPDを添加した化学セッコウを用いて固化材を試作し、これを用いて建設汚泥を処理したところ、再生土からのフッ素化合物の溶出を土壤汚染対策法の基準値である $0.8 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ 以下に抑制でき、(財)土壤環境センターが提案している500年試験³⁰⁾でもフッ素化合物の溶出が見られない高い安定性を示すことが明らかになった³¹⁾。

この知見を活用することにより、廃セッコウボードの安心、安全リサイクルが可能となると期待される。

6 最後 に

本稿では、建設廃棄物として大量に廃棄されている廃セッコウボードのリサイクル技術として広く行われている建設汚泥の固化材製造についてその概要を紹介し、それに伴う問題点とその解決技術について概説した。

廃セッコウボードのリサイクルは産業廃棄物処理の分野において重要課題の一つであり、多くの企業がすでに種々のビジネスを進めている。しかし、その多くがセッコウの固化特性だけに着目したものであり、セ

ッコウ中に含まれる不純物等、材料科学的な知見に乏しいものが多い。廃セッコウボード問題を単なる廃棄物問題と考えるのではなく、無機材料科学の課題として積極的に研究開発に取り組むことが求められる。

また、近年開発・生産がさかんな各種機能性素材を複合させた機能性セッコウボードについても、将来廃棄物になることを見越した対策技術の検討も必要であろう。

セッコウに関する学術団体を基礎とし、60年近くにわたってセッコウを含めた無機材料に関する学術的知見を積み上げてきた本学会が廃セッコウボードのリサイクルに果たすことができる役割は極めて大きく、その責務はきわめて重い。近年セッコウに関する研究に取り組む研究者が日本では少なくなっているが、循環型社会形成の社会環境下でセッコウを巡る状況が変化している現在だからこそ、多くの研究者がセッコウに関する学術研究に積極的に取り組むことが期待される。

謝 辞

本解説は、平成14～16年度文部科学省科学研究費補助金(若手研究(B), 14780451)、平成16～18年度環境省廃棄物処理等科学研究費補助金(K1611, 1727, 1846)、平成16～18年度(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)産業技術研究助成(04A19013)、平成19年度NEDO大学発事業創出実用化研究開発事業によって行った研究成果をもとにまとめたものである。

文 献

- 1) 鈣石膏ボード工業会, 環境省, “廃石膏ボードのリサイクルの推進に関する検討調査報告書”(2002).
- 2) T. Yasue, *J. Soc. Inorg. Mater. Japan.*, **7**, 492 (2000).
- 3) M. Kikuchi, *J. Soc. Inorg. Mater. Japan.*, **10**, 389 (2003).
- 4) Y. Kojima, S. Funada, T. Yasue, *J. Soc. Inorg. Mater. Japan.*, **11**, 212 (2004).
- 5) T. Yasue, *J. Soc. Inorg. Mater. Japan.*, **10**, 68 (2003).
- 6) 環境省編, “平成 19 年度版環境白書・循環型社会白書”, (2007) p. 188.
- 7) 国土交通省, “建設汚泥の再生利用に関するガイドライン”, 国官技第 46 号, 国官総第 128 号, 国営計第 36 号, 国総事第 19 号(2006).
- 8) 環境省, “建設汚泥の再生利用指定制度の運用における考え方について”, 環廃産発第 060704001 号(2006).
- 9) たとえば環境新聞平成 20 年 1 月 18 日号, 第 8 面.
- 10) 亀井健史, 鶴銅恵三, 珠玖隆行, 土と基礎, **55**, 26 (2007).
- 11) 環境省編, “平成 19 年度版環境白書・循環型社会白書”, (2007) p. 84.
- 12) 小野雄策, 田中信壽, 廃棄物学会誌, **14**, 248 (2003).
- 13) 小野雄策, 倉田泰人, 大川又三, 藤田 巧, 日和佐雅哉, 増田雅巳, 特開 2007-290877 (2007).
- 14) 鈣石膏ボード工業会, “解体廃石膏ボードの再資源化技術開発”, NEDO 委託事業報告書, (2001) p. 14.
- 15) K. Kaji, T. Tsuda, *J. Soc. Inorg. Mater. Japan (Gypsum & Lime)*, No. 48, 162 (1960).
- 16) S. Nagai, M. Hanada, *J. Soc. Inorg. Mater. Japan (Gypsum & Lime)*, No. 100, 161 (1969).
- 17) 中山憲子, 町長 治, 青山芳夫, 分析化学, **43**, 241 (1994).
- 18) H. T. Dean, *J. Am. Dent. Assoc.*, **21**, 1421 (1934).
- 19) 金刺博康, *PPM*, No. 9, 46 (1978).
- 20) L. C. Chow, *J. Ceram. Soc. Jpn.*, **99**, 954 (1991).
- 21) H. Monma, S. Ueno, *J. Soc. Inorg. Mat. Japan (Gypsum & Lime)*, No. 172, 101 (1981).
- 22) L. C. Chow, W. E. Brown, *J. Dent. Res.*, **52**, 1220 (1973).
- 23) E. J. Duff, *J. Inorg. Nucl. Chem.*, **32**, 3703 (1970).
- 24) M. Tafu, T. Chohji, *Anal. Sci.*, **17**, i753-756 (2001).
- 25) M. Tafu, T. Chohji, *J. Ecotech. Res.*, **10**, 83 (2004).
- 26) M. Tafu, T. Chohji, *J. Ceram. Soc. Jpn.*, **113**, 263 (2005).
- 27) 袋布昌幹, 丁子哲治, 水環境学会誌, **28**, 179 (2005).
- 28) M. Tafu, T. Chohji, *J. Eur. Ceram. Soc.*, **26**, 767 (2006).
- 29) 袋布昌幹, 丁子哲治, 藤田 巧, 日和佐雅哉, 特願 2007-146594 (2007).
- 30) 橋本正憲, 環境技術, **36**, 180 (2003).
- 31) 袋布昌幹, 丁子哲治, 藤田 巧, 日和佐雅哉, 中野宏一, 特願 2008-63435 (2008).

筆者紹介

袋布昌幹 富山工業高等専門学校環境材料工学科准教授 博士(工学)

1993 年京都大学大学院理学研究科化学専攻修士課程修了, 1994 年同大学院工学研究科材料化学専攻博士課程中退, 同年富山工業高等専門学校助手, 2005 年同助教授, 2007 年同准教授 現在に至る.

連絡先 〒939-8630 富山県富山市本郷町 13 番地(勤務先)

丁子哲治 富山工業高等専門学校校長補佐(地域連携・研究担当), 環境材料工学科教授 工学博士

1975 年金沢大学大学院工学研究科化学工学専攻修士課程修了, 同年金沢大学工学部助手, 講師をへて 1992 年より富山工業高等専門学校助教授, 1995 年教授, 現在に至る.

連絡先 袋布氏に同じ

(2008. 2. 28 受付)
(2008. 3. 28 受理)

9.2. 中間評価ヒアリング

平成21年度環境型社会形成推進科学研究費 中間評価 2009/11/25

不純物評価・制御技術と ユビキタス電子マニフェストシステムを融合した、 廃石膏ボード・建設汚泥の 安心・安全リサイクルシステムの構築 (課題番号: K2003, 2165)

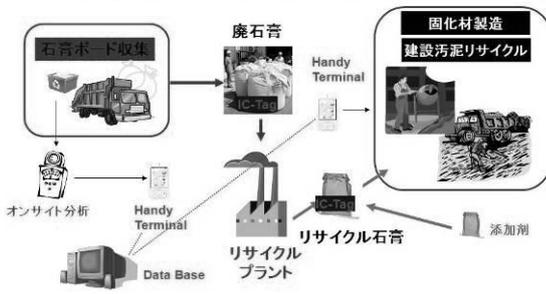
代表研究者:
袋布 昌幹 (富山高等専門学校*・准教授)
説明者:
袋布 昌幹 (代表研究者・富山高等専門学校)
間中 淳 (共同研究者・富山高等専門学校)
*所属機関の再編年度により、機関名が10月1日より変わりました。

課題番号K2003, 2165 代表研究者: 富山高等専門学校 袋布 昌幹(たふまさと)

1

平成21年度環境型社会形成推進科学研究費 中間評価 2009/11/25

本研究でイメージしているリサイクルシステム



課題番号K2003, 2165 代表研究者: 富山高等専門学校 袋布 昌幹(たふまさと)

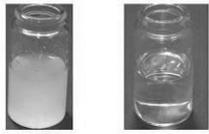
3

平成21年度環境型社会形成推進科学研究費 中間評価 2009/11/25

課題1: 石膏中フッ素化合物のオンサイト分析(1)

研究内容	達成目標	状況
1) 廃石膏ボード中に含まれる不純物のオンサイト分析装置の試作	従来外注が必須であった石膏中の(主に)フッ素化合物をオンサイトで分析できる可搬型分析装置の開発	ほぼ完了!

平成16~18年の廃棄物科研究費の事業において、キレート剤を用いた溶解液を用いて、難溶性の石膏を均一な溶液にする技術を開発していたが、...



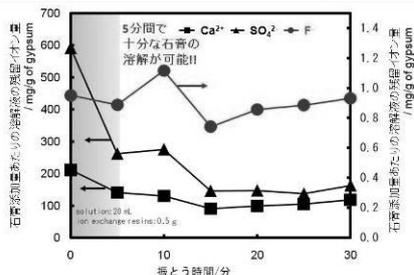
審査員から指摘された問題点
 →高価なキレート剤を使っている。
 キレート剤の再利用はできないのか?
 →得られた実試料の分析データは、
 実用的なレベルには到達していない!!
 (高濃度のカルシウム、硫酸塩が共存するため)

課題番号K2003, 2165 代表研究者: 富山高等専門学校 袋布 昌幹(たふまさと)

6

平成21年度環境型社会形成推進科学研究費 中間評価 2009/11/25

課題1: 石膏中フッ素化合物のオンサイト分析(3)



課題番号K2003, 2165 代表研究者: 富山高等専門学校 袋布 昌幹(たふまさと)

7

平成21年度環境型社会形成推進科学研究費 中間評価 2009/11/25

研究目的

対象とした技術

建設廃棄物である「廃石膏ボード」と「建設汚泥」の両者の有効再利用が可能とされている「廃石膏ボードを用いた建設汚泥固化材」

問題点

一部の廃石膏ボードに含まれるフッ素化合物等の不純物→施工地のBFH石膏が原因となる硫化水素発生→特定の条件であるものの大きな問題

研究内容

廃石膏ボードの不純物(環境負荷)評価・制御技術を核とした
 ユビキタス電子マニフェスト導入による、
 廃石膏ボードの安心・安全リサイクルシステムの構築

課題番号K2003, 2165 代表研究者: 富山高等専門学校 袋布 昌幹(たふまさと)

2

平成21年度環境型社会形成推進科学研究費 中間評価 2009/11/25

現段階での進捗状況

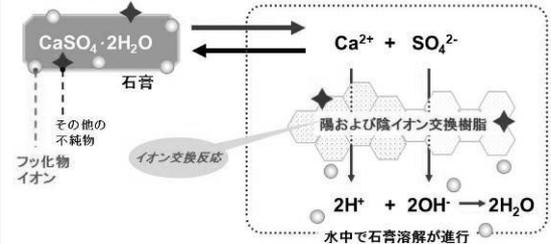
研究内容	達成目標	状況
1) 廃石膏ボード中に含まれる不純物のオンサイト分析装置の試作	従来外注が必須であった石膏中の(主に)フッ素化合物をオンサイトで分析できる可搬型分析装置の開発	ほぼ完了!
2) 分析結果および対策技術を電子マニフェストに付与して提供できるユビキタス端末を用いた物流システムの構築	現在流通している廃石膏ボードの現状、環境負荷抑制技術を調査し、そのデータベース化の検討	調査進行中
3) 富山県をフィールドとした実証試験	富山県内で行われている廃石膏ボード回収→建設汚泥リサイクル現場において1)2)の技術の評価	試験開始
4) アウトリーチ活動による普及・啓蒙	各種展示会での啓蒙、アウトリーチの機会を活用した、国内外の方々との対話を通じた本成果のブラッシュアップ	国内外への展開が!!

課題番号K2003, 2165 代表研究者: 富山高等専門学校 袋布 昌幹(たふまさと)

4

平成21年度環境型社会形成推進科学研究費 中間評価 2009/11/25

課題1: 石膏中フッ素化合物のオンサイト分析(2)



イオン交換樹脂の選定により、フッ化物イオンを溶液中に残存させながら、
 試薬を含まない水中で石膏を短時間で溶解、
 溶解に伴うpH変動も抑制することが可能!!

イオン交換樹脂は再生可能なので、繰り返し溶解に利用可能!!

課題番号K2003, 2165 代表研究者: 富山高等専門学校 袋布 昌幹(たふまさと)

6

平成21年度環境型社会形成推進科学研究費 中間評価 2009/11/25

課題1: 石膏中フッ素化合物のオンサイト分析(4)



イオン交換樹脂を用いることにより、わずか5分間で石膏を均一に溶解させることが可能!!

課題番号K2003, 2165 代表研究者: 富山高等専門学校 袋布 昌幹(たふまさと)

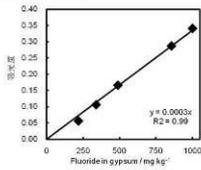
8

課題1: 石膏中フッ素化合物のオンサイト分析(5)

●フッ素添加石膏を用いた検量線作成

石膏を溶解した溶液中のフッ化物イオン濃度を、フッタンダーアリリルコンプレクソン吸光光度法で測定

極めてよい定量性、精度を確保(RSD: 3%)
石膏のオンサイト分析の前処理としての有用性を確認



●実試料を用いた石膏中フッ素含有量の評価結果

セッコウ中のフッ素量 / mg kg ⁻¹			
含有量	添加量	検出量	回収率* / %
Sample. A	193	208	95
Sample. B	2094	995	91

実試料においても、正確なフッ素化合物量の評価が可能! *回収率 = 検出量 / (含有量 + 添加量)

課題2: 物流システムの構築(1)

研究内容	達成目標	状況
2) 分析結果および対策技術を電子マニュアルに付与して提供できるユビキタス端末を用いた物流システムの構築	現在流通している廃石膏ボードの現状、環境負荷抑制技術を調査し、そのデータベース化の検討	調査進行中

廃石膏ボードで問題となる課題は3つ。

「酸化水素の発生」「フッ化物イオンの溶出」「アスベスト」

- これらの対策技術として国環研、埼玉県、日本工業大学のグループ等で行われている取り組みも調査。廃石膏ボードリサイクルに必要な要素技術を蓄積している。

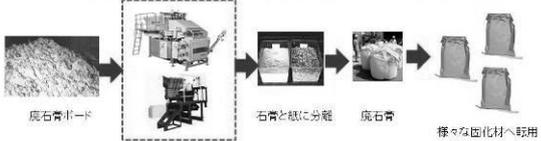
例 酸化水素を発生する施工条件(土壌のpH、水はけなど)
フッ化物イオンの除去・不溶化技術(洗浄、Ca、Mg 塩等による不溶化)

課題2: 物流システムの構築(3)

廃石膏ボード/建設汚泥リサイクル

→求める施工用地、強度によって石膏の使われ方は様々(石膏のみの利用、セメントの添加剤、石灰系固化工材 etc. etc...)

全てに共通するのは「廃石膏ボードから紙と石膏を分離する」破砕作業



破砕機のソリューションを有する事業者をコアとすれば、安心・安全なソリューションモデルの構築が可能か??

課題4: アウトリーチ活動(1)

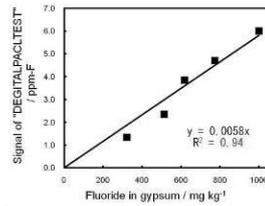
研究内容	達成目標	状況
4) アウトリーチ活動による普及・啓蒙	各種展示会での啓蒙、アウトリーチの機会を活用した、国内外の方々との対話を通じた本成果のブラッシュアップ	国内外への予想外の展開が!!

- 展示会への出展: 2008および2009NEW環境展(東京)
いわゆる「飛び込み」ではない来場者多数。
廃石膏ボードリサイクルの先行研究として高い認知度を確認。



課題1: 石膏中フッ素化合物のオンサイト分析(6)

- 市販のバックテスト/オンサイト分析装置を用いた試験 -



公定分析:
通常1検体10,000円台
10日間必要→抜き取り検査
簡易分析で全検体をルーチン分析することで安全性を担保可能

市販のバックテスト、オンサイト分析装置を用いても、比較的正確なフッ素量の評価が可能!!

課題2: 物流システムの構築(2)

「ユビキタス端末の試作・導入」

→新規のシステムを導入することは、ユーザーに新たな設備負担を強いることとなるため、既存の物流システムに組み込める可能性を、廃棄物処理業との連携で検討中。

「廃棄物物流システム」

→現在大規模/小規模に廃石膏ボードリサイクルを進めている企業等への調査が進行中。

- 半径30km圏内で年間3万トンの廃石膏ボードを収集できれば、不純物の公定分析も内製化でき、自己完結した物流が構築可能

- 上記モデルは「首都圏・大都市」に限定されており、多くの地域ではいくつもの企業が様々な組織・取り組みを進めている。

▲ 私たちの取り組みはこちらの事例に適應できるしくみ作りが必要!!

課題3: フィールド試験(1)

研究内容	達成目標	状況
① 富山県をフィールドとした実証試験 ↓ 富山県をはじめとする実現場での実証試験	富山県内で行われている廃石膏ボード回収→建設汚泥リサイクル現場において1)2)の技術の評価	試験開始

- 半径30km圏内で年間3万トンの廃石膏ボードを収集できれば、不純物の公定分析も内製化でき、自己完結した物流が構築可能
→試作した分析方法の定性性を公定法とクロスチェック

(神奈川県、愛知県での試験場所の調整中)

- 上記モデルは「首都圏・大都市」に限定されており、多くの地域ではいくつもの企業が様々な組織・取り組みを進めている。

→小規模な事業所におけるモニター利用により、本評価法をより使いやすいものへとカスタマイズする指針を得る
(富山県、静岡県での試験を準備中)

課題4: アウトリーチ活動(2)

- ワークショップの開催(富山市)
H16~18の課題でも実施:参加者20名程度(主に富山県内)
H21(2月)のワークショップ:参加者約80名!!(全国から)
全国の廃石膏ボードリサイクルの現場から高い関心が寄せられていることを確認!!



- 国内外での学会発表
特にチュニジアで今年11月に行った学会発表では、リン酸製造時に発生する「リン酸石膏」の環境負荷低減、石膏の有効利用技術開発に関心を持つ研究チームから共同プロジェクトの提案→新たな「エコイニチアティブ」の提案に期待!!
- 廃石膏ボードリサイクルに関する講演依頼も増えている。
→石膏リサイクルのデファクト化に向けた取り組みが可能に。

得られた主な成果(1)

- 第3回モノづくり連携大賞特別賞受賞
「生体にヒントを得た環境中フッ素等対策技術の開発・実用化
～KOSEN発エコイノベーション・とやまから世界へ～」
本研究内容が一部含まれる国内異業種の産学連携事例に対して高い評価
- 富山県氷見市に本技術で連携が強化された企業による
リサイクルプラントが計画中、数年以内に操業開始
アカデミックと地元企業が連携した本研究のユニークな成果
本研究で得られた「富山モデル」を実証、実用化するフィールドが構築!!
- 世界最大規模の石膏ボードメーカー-Knauf社や添加剤で連
携関係にあるBKGiulini社(旧ヘキスト)との連携を構築
海外の先進的な材料技術との連携により、不純物制御の可能性の検討へ

課題番号K2003_2165 代表研究者: 富山高専専門学校 袋布 昌幹(たふまこと)

17

得られた主な成果(2)

- 今年7月に韓国の浚渫汚泥リサイクルについて日韓で産学
連携を行う覚え書きに調印
我が国の優れた環境技術による東アジア諸国への国際貢献の一助に
アジア3Rイニシアチブとして、石膏リサイクルも有効なツールであることを確認
 - 大量のリン資源を有するチュニジア等の北アフリカ諸国への
本技術の展開について検討を開始
→リン酸肥料製造に伴う大量の石膏の環境負荷およびその有効利用が
渴望。我が国の肥料産業による間接的な環境負荷を制御する技術とし
て有用性大。
- 本研究で得られた「富山モデル」が、世界の「安心・安全な石膏リサイクル
ワールド」の構築に寄与できる可能性が見いだされた。

課題番号K2003_2165 代表研究者: 富山高専専門学校 袋布 昌幹(たふまこと)

18

今後の検討課題・計画

研究内容	今後のすずめ方
1) 廃石膏ボード中に含まれる不純物の オンサイト分析装置の試作	☆石膏中不純物制御にカスタマイズされた分析装置の試 作(安全性の○×判定を容易に行える簡易装置) を産総研東北センター等と連携して進める。
2) 分析結果および対策技術を電子マニ フェストに付与して提供できるユビキタス 端末を用いた物流システムの構築	☆全国のリサイクル組織との連携を模索 ☆我が国の廃石膏ボードリサイクルで共通する「ボードの 解体・分離」をコアにした評価・リサイクルシステムに関す る検討。
3) 富山県をフィールドとした実証試験	☆現在開発が成功しているバックテスト型のプロトタイプ を用いて、種々の廃棄物回収サイト、リサイクルサイトでの 評価を試みる。 ☆簡易装置が完成し次第、同様の評価を進める。
4) アウトリーチ活動による普及・啓蒙	☆「とやま発」の石膏の環境負荷評価、抑制技術を我が 国のみならず、海外へも展開できる連携体制の構築 ☆種々のユーザーとの対話による、安心・安全な廃石膏 ボードリサイクルのあり方に関する提言

課題番号K2003_2165 代表研究者: 富山高専専門学校 袋布 昌幹(たふまこと)

19

循環型社会形成推進研究事業中間評価 評価結果

課題番号	研究課題名	代表研究者	総合評価	成果の 学術的貢献 の可能性	成果の 社会的貢献 の可能性	目標 の達成度	計画 の妥当性	継続能力
【K2003】	不純物評価・制御技術とユビキタス 電子マニフェストシステムを融合した、 廃石膏ボード・建設汚泥の安心・ 安全リサイクルシステムの構築	袋布 昌幹	53.6	54.5	61.1	51.9	49.8	52.9
(評価コメント)								
<ul style="list-style-type: none"> ● 成果が待たれる。 ● 今回開発した技術を他の分野で活用した方が、効果が大きいのではないかと。 ● 廃石膏ボードのリサイクル性を評価するものとして、この研究が役立てばありがたい。 ● イオン交換樹脂を用いて、過去指摘の課題を改良してフッ素化合物のオンサイト分析を実施。適用先も拡大中。 ● 着実に計画が進められ、成果もある。 								

注) 評価コメントについては、代表研究者が、総合評価を評価者全体の評価結果として捉えた上で、すべての評価コメントの反映を目指すのではなく、各コメントの中で今後活かすべき重要な指摘や示唆が何かを吟味・判断の上、今後の研究計画の見直し等に活用することを期待する。

9.3. 研究ワークショップ

第4回廃棄物の循環利用に関するワークショップ

建設廃棄物の安心・安全な循環利用を目指す地域連携の姿とは

【日時】	2009年2月24日(火) 13:20~18:00
【会場】	ボルファートとやま 4階 琉水の間 富山市奥田新町8-1 (JR 富山駅北口徒歩9分)
【主催】	富山工業高等専門学校・環境省廃棄物処理等科学研究費研究班 (K2003)
【共催】	特定非営利活動法人・エコテクノロジー研究会,
【参加費】	無料

昨年、環境省・国土交通省が行った建設リサイクル法の見直しにおいて、廃石膏ボードおよび建設汚泥の特定資材への指定が見送られました。その理由の一つとして、リサイクルされたこれらの資材の「出口」が明確ではないことが挙げられています。

その一方、国内の至る所で、これら廃棄物のリサイクルを目指したビジネスや、地域連携の事例が多く報告されています。

富山工業高等専門学校では、地域に根ざした新しい廃棄物循環モデルの構築・発信を目的に、平成20年度から環境省の補助を受けて研究を進めています。

本ワークショップは、我が国で先行しているいくつかの事例をご紹介いただき、建設廃棄物の安心・安全な循環利用に資する地域連携の姿について議論することを目的として開催するものです。

多くの方のご参加をお待ちしております。

●プログラム●

13:00 受付

13:20 開会・挨拶

富山県生活環境文化政策課環境政策課廃棄物対策班主幹 坂森 重治

13:40 講演1 「廃石膏ボードの埋立における硫化水素発生とその防止技術」

埼玉県環境科学国際センター廃棄物管理部長 小野 雄策

14:20 講演2

「汚泥のセメント/石灰改良に及ぼす半水石膏添加の影響について」

長岡工業高等専門学校教授 尾上 篤生

15:00 講演3

「廃石膏ボード・建設汚泥の安心・安全な循環モデルの構築に向けて」

富山工業高等専門学校准教授 袋布 昌幹

15:40 休憩

15:50 講演4

「廃石膏ボードの利活用事例と北海道循環ネットワークづくり」

北清企業(株) 取締役社長 大嶋 武

16:30 講演5

「廃石膏ボード循環利用の取組と展望」

(株)タケエイ 経営企画部 グループ長代理 川口 知司

17:10 総合討論

17:50 閉会

18時頃より、富山市内で「意見交換会」を開催いたします。

「廃石膏ボードの利活用事例と北海道循環ネットワークづくり」

2009年2月24日 富山
第4回廃棄物の資源化に関するワークショップ
建設廃棄物の安心・安全な循環利用を
目指す地域連携とは

北清企業株式会社
大嶋 武

北清企業株式会社

北清企業株式会社の紹介

【会社概要】

- ・ 名称：北清企業株式会社
- ・ 所在地：北海道札幌市東区北丘5条4丁目
- ・ 創業：昭和44年3月・資本金：3000万
- ・ 従業員：135名
- ・ 事業内容：一般・産廃(特管)収集運搬業
産業廃棄物処分業(選別・破砕)
リサイクル・環境関連商材の販売、他

【北清グループ】

関連子会社12社、全従業員350名、年商45億

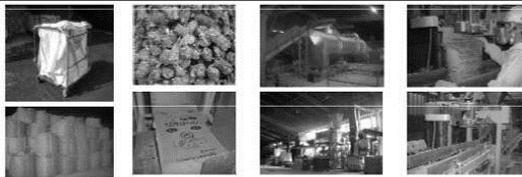
北清企業株式会社

廃石膏ボードの収集・処理・リサイクル

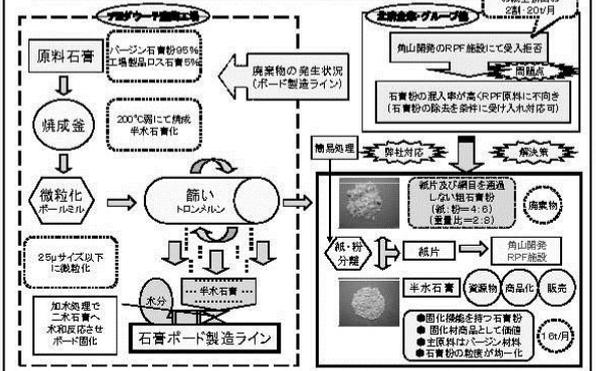
新築系廃石膏ボードを中心に

破砕・粉砕・紙の分離後に各種リサイクル

- ☆平成14年：中間処置施設として稼働
- ☆平成15年：札幌市廃石膏ボード指定工場の認定
- ☆平成17年：中小企業・ベンチャー挑戦支援事業(実用化研究開発・経産省)
- ☆平成19年：循環資源利用促進設備整備費補助事業(北海道環境局)



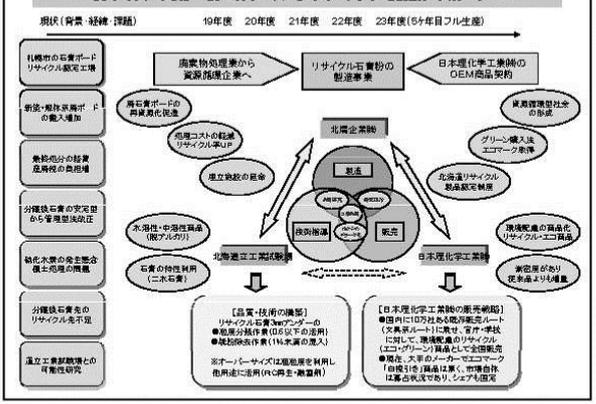
デコグラーテ室前工場の製造ラインから精出の紙・半水石膏の処理及び利活用



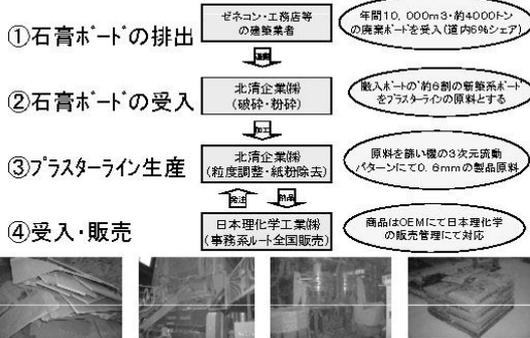
廃石膏ボードリサイクルに必要な条件と可能性

再資源化用途	材料(割合)	種別	処理方法			注
			破砕	選別	焼成	
1 石膏ボード破砕	廃石膏(100%)	石膏	破砕	セメントカー	○	高純度石膏
2 廃石膏ボード	廃石膏(100%)	石膏	破砕	セメントカー	○	破砕中
3 石膏ボード	廃石膏(100%)	石膏	破砕	セメントカー	○	高純度石膏
4 石膏ボード	廃石膏(80%) セメントカー(20%)	石膏	破砕	セメントカー	○	高純度石膏
5 石膏ボード	廃石膏(7%) セメントカー(93%)	石膏	破砕	セメントカー	○	破砕中
6 石膏ボード	廃石膏(70%) セメントカー(30%)	石膏	破砕	セメントカー	○	高純度石膏
7 リサイクル石膏ボード	廃石膏(100%)	石膏	破砕	セメントカー	○	高純度石膏
8 石膏ボード	廃石膏(100%)	石膏	破砕	セメントカー	○	高純度石膏
9 (石膏ボード)	廃石膏(80%) セメントカー(20%)	石膏	破砕	セメントカー	○	高純度石膏
10 石膏ボード	廃石膏(100%)	石膏	破砕	セメントカー	○	高純度石膏
11 セメントカー	廃石膏(100%)	石膏	破砕	セメントカー	○	高純度石膏
12 石膏ボード	廃石膏(100%)	石膏	破砕	セメントカー	○	高純度石膏

【リサイクル事例】 廃石膏ボードから「グランドライン」製品化事業スキーム



石膏リサイクル「エコプasterライン」の製造～販売



運動用「グラウンドライン」の市場

- ・ 国内市場: 65,000t/年
- ・ 供給元: スポーツ系メーカー(SSK・ミズノ)
文具系メーカー(日本理化学、天神)
建材系メーカー(アサヒ鋳末)
- ・ 需要先: 幼稚園、保育園、小中高大学校及び
全国の教育施設・運動競技施設
- ・ 近年の動向: 教育現場でのリサイクル教育及びリサイクル品の積極的な使用(グリーン購入)
従来の石灰系ラインでの視力障害が全国で100件報告され、文科省が石灰系の使用禁止通知
- ・ リサイクル製品: ガイア(卵の殻から製品化、アルカリ性、粒度微細)

北清企業株式会社

日本理化学工業㈱の契約と将来展開

【日本理化学工業の概要】

- ☆売上高: 5億3500万
- ☆主力商品
ダストレスチョーク(2.4億)(全国1位)
ラインパウダー白線引き(1億)(全国3位)



H20年12月カンパリア賞にて授賞

【OEM契約と方向性】

北清企業にて製造した製品全量を相手方ブランドで日本理化学にて販売。初年度1200t(6万袋)を目標に生産規模に応じ販売量を増加させ、先方の自社商品「ラインパウダー」として販売している白線引き商品(約4500t)を全て「エコプasterライン」へ切り替え、同様の設備を九州北清でも整備し全国2拠点にて製造展開する。

北清企業株式会社

北海道地区 石膏リサイクル研究会の活動

【組織概要】

- ・ 会員 計52名会員(法人会員32名・特別会員20名)
※特別会員: 北海道庁・札幌市・石狩支庁他、(行政機関)
北海道立工業試験場・北海道大学他、(公設試)
- ・ 役員 代表幹事 大嶋 武(北清企業㈱ 取締役社長)
幹事 大友広明(網岩佐 代表取締役社長)
幹事 吉田秀三(網桐井 環境営業部長)
幹事 小澤国好(キョウヒラー北海道 環境課長)
事務局長 渡部 歩(渡部工業㈱ 専務取締役)
- ・ 目的 「石膏ボードを如何にリサイクルさせるか?」をテーマに、石膏ボードリサイクルの動向・手法を学ぶ会として、産学官各分野に於ける情報の収集・発信及び道内でのリサイクル連携と資源供給のネットワーク構築に向けての環境活動を通じて、循環型社会の形成や通じて地域社会に貢献していこうとするものである。

北清企業株式会社

道内の石膏リサイクル事例の紹介

- ・ リサイクル廃石膏粉とホチキス殻を利用したヒ素不溶化処理研究から土壌改良剤を開発。今春、製品販売予定。
(イース総合研究所: 札幌市)
- ・ 稚内珪藻頁岩土とリサイクル石膏粉を利用し高機能な調湿・脱臭効果を持ち、非焼成にて内装材(ブリックタイル)を開発、製品販売。
(有)加賀谷ブリック道立試・北大 釧路市)
- ・ 再生路盤材(下層路盤材: 凍上抑制層)の締め材(スリ)への代替商材としての石膏粉利用を研究開発。
(網岩佐・北海道CAT・十勝支庁: 帯広市)

北清企業株式会社

その他、道内研究・開発事例

- ・ 廃石膏ボード改質処理(北海道立工業試験場)
研究項目) ①不溶化処理剤の選定
②フッ素不溶処理試験
③実商材の不溶化剤添加・混合
④製品の品質試験、まとめ
- ・ 硫化水素発生試験(北海道立工業試験場)
「廃石膏粉と再生RCダスト、セメント混合による路盤材への利用」に於ける環境基準等への影響調査
研究項目) ①硫酸水素濃度とPH測定
②トリンガイト反応と重金属溶出の有無

北清企業株式会社

環境省廃棄物処理等科学研究費補助金（K2165）事業

第5回廃棄物の循環利用に関するワークショップ

安心・安全な廃石膏ボードリサイクルの技術としくみづくり

【日時】	2009年2月26日(金) 13:00~17:30
【会場】	アワーズイン阪急 3階 会議室C 東京都品川区大井1-50-5 (JR,東急,りんかい線大井町駅前)
【主催】	富山高等専門学校・環境省科学研究班(K2165)
【参加費】	無料

一昨年、環境省・国土交通省が行った建設リサイクル法の見直しにおいて、廃石膏ボードおよび建設汚泥の特定資材への指定が見送られました。その理由の一つとして、リサイクルされたこれらの資材の「出口」が明確ではないことが挙げられています。

その一方、国内の至る所で、これら廃棄物のリサイクルを目指したビジネスや、地域連携の事例が多く報告されています。

富山工業高等専門学校では、地域に根ざした新しい廃棄物循環モデルの構築・発信を目的に、平成20年度から環境省の補助を受けて研究を進めています。その成果として、今年、現場で廃石膏ボード中のフッ素化合物等の分析を可能とする技術を開発することができました。

本ワークショップは、私達が開発した装置のご紹介に加えて、我が国で先行しているいくつかの事例のご紹介を通して、建設廃棄物の安心・安全な循環利用に資する技術およびしくみづくりの将来像について議論することを目的として開催するものです。

多くの方のご参加をお待ちしております。

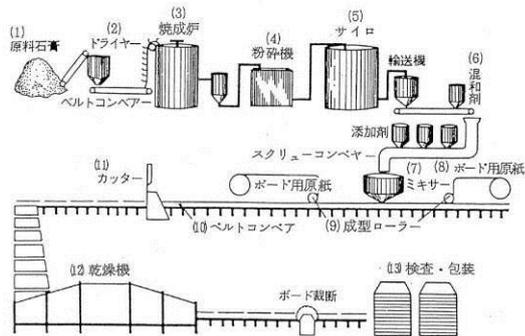
●プログラム●

- 13:00 受付
- 13:30 開会
- 13:40 講演1
「石膏ボードのリサイクルの現状と課題」
(社)石膏ボード工業会 専務理事 林 宏治
- 14:20 講演2
「建設汚泥リサイクルを取り巻く環境」
(一般)泥土リサイクル協会 事務局長 野口 真一
- 15:00 講演3
「企業倫理が競争力につながるー環境関連産業への期待ー」
富山高等専門学校国際ビジネス学科 講師 宮重 徹也
- 15:40 休憩
- 15:50 講演4
「廃石膏ボード・建設汚泥の安心・安全な循環モデルに必要な技術・しくみづくりとは」
富山高等専門学校准教授 袋布 昌幹
- 16:30 講演5およびデモンストレーション
「廃石膏ボードの環境負荷を評価するオンサイトモニタリング技術」
富山高等専門学校助教 間中 淳
- 17:00 総合討論
- 17:30 閉会

石膏ボードのリサイクルの現状と課題

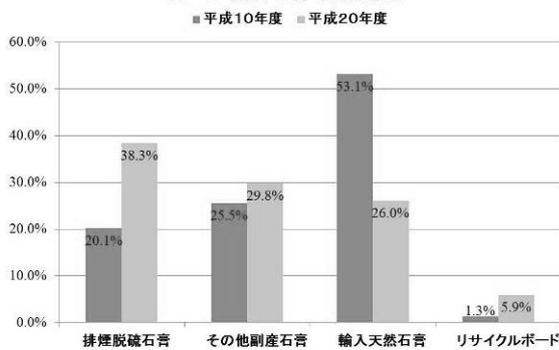
2010年 2月26日
 社団法人 石膏ボード工業会
 林 宏治

せっこうボードの製造工程



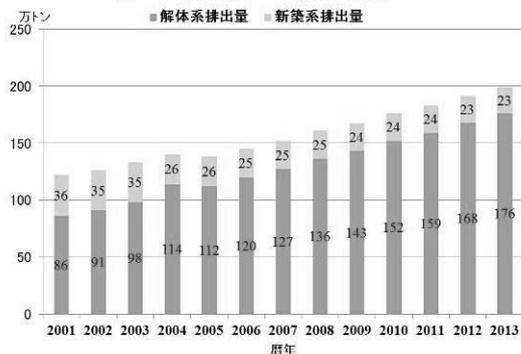
3

図-2 原料石膏の割合推移



5

図-3 廃石膏ボード排出量推計

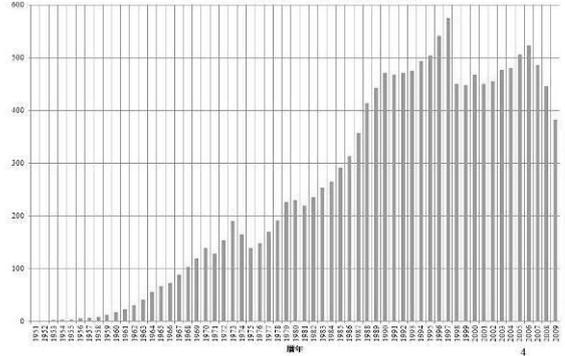


7

石膏ボードの概要

- 生産量(≒出荷量:図-1)
 - ・国内:2008年度448万トン、5億2千万㎡
 - ・全世界:約50カ国、79億㎡
 - ・製品輸出入ほとんどなし
- 原料石膏(使用割合:図-2)
 - ・約68% 国産副産石膏(内、排煙脱硫38%)
 - ・約26% 輸入天然石膏(豪州、タイ、メキシコ)
 - ・約 6% リサイクルボード(新築廃材主体)
- ボード用原紙
 - ・年間消費量 約20万トン(石膏ボード1枚の重量比5%)
 - ・新聞古紙、ダンボール古紙等100%再生紙利用

図-1 石膏ボード出荷量推移



4

廃石膏ボードの排出量(当工業会推計)

- 2008年で総排出量161万トン(排出量推計 図-3)
 - ・生産時の廃材:生産量の約2%(全量回収)発生
 - ・新築系廃材:出荷量の約8%(40万トン)発生(図-4)
 - ・メーカー回収は、その内の約70%(28万トン強)
 - ・管理型処分場へは4万トン
 - ・判別不明は5万トン
 - ・解体系廃材:136万トン発生(図-5)
 - ・メーカー回収は約2万トン
 - ・管理型処分場へは30万トン
 - ・判別不明は47万トン
- 2013年には総排出量200万トン(その後は試算中)
 - ・管理型最終処分場の不足
 - ・不適切処理や不法投棄の増大懸念
 - ・解体系廃材の再資源化活用が必須

6

図-4 新築系廃石膏ボードの処理・リサイクル状況
 (出典:環境省平成20年度調査報告書)

(1) 処理・リサイクルフロー



(2) 処理・リサイクル状況

- ・新築工事現場から搬出されるもののうち、6.6%を石膏ボード工場が受入(直接持ち込み3.6%、中間処理施設経由3.0%)
- ・その他リサイクル施設では1.1%を受入れている
- ・中間処理施設を経由してリサイクルされる割合が4.0%
- ・処理料金
 - 石膏ボードメーカー:1.0万円/t
 - 中間処理業者:1.5~3.0万円/t
 - 管理型処分場:2.0~3.0万円/t(高額な場所では4.0~5.0万円/t)

8

図-5 解体系廃石膏ボードの処理・リサイクル状況
(出典:環境省平成20年度調査報告書)

(1) 処理・リサイクルフロー



(2) 処理・リサイクル状況

- ・解体工事現場から搬出されるものうち、50%が中間処理施設に搬入・処理されている
- ・石膏ボード工場への直接搬入は行われていない
- ・解体現場等から石膏ボード工場で原料としてリサイクルされるのは全体の約2%
- ・中間処理業者の処置費：2~4万円/t

9

廃石膏ボードの法的扱い

- ・1999年6月16日以前:安定型産業廃棄物
 - ・1999年6月17日以降:管理型産業廃棄物
- これは、有機物である紙が約5% (重量比) 附着しているため
ただし、紙を分離した石膏 (目視で紙が見えない) は安定型扱い
- ・2006年6月1日:紙を分離した石膏は管理型扱いの通知が出された
- (安定型処分場での硫化水素発生懸念が否定できないとして)

10

廃石膏ボードのボードメーカーの受入れ条件

- ・荷姿 異物のない
水濡れしていない
石膏ボードの形態のものに限る
石膏パウダーの受入れは原則不可
- ・搬入 6m³コンテナ車又は10Tダンプ等
工場内にて荷下ろし前後に台費
- ・価格 (いただく処理費)
 - ・新築廃材の受入れ価格は1.0万円/t
 - ・解体廃材の受入れ価格は1.5万円/t

11

廃材の石膏ボードへのリサイクル方法

1. 10cm角程度に粗粉砕
2. 10mm角以下に微粉砕
3. 天然石膏及び排煙脱硫石膏等の原料石膏に配合
4. 焼石膏に焼成後の粉砕装置で1mm以下となりボード用焼石膏に混入

廃材リサイクルの問題点

1. 廃材微粉砕品の嵩比重が軽い (通常原料1.0に対して0.5)
 - ー 輸送設備関係の増強が必要ー
2. 廃材を混入するほど練り混水量がアップする (通常の焼石膏が80%に対し廃材単身は160%)
 - ー 乾燥水量が増え生産性が低下ー

12

石膏ボードメーカーのリサイクル率向上技術開発状況

1. 目的: 将来大量に発生する解体系廃石膏ボードのリサイクル上の最大課題の解決が目的。
約1μm × 10μmの微細結晶を50μm × 100μmにすることが最大の目的
2. 成果: 二水石膏 ⇄ 半水石膏の可逆反応を利用する湿式プロセスにより、ラポレベルで粗大化改質できることを実証
3. 課題:
 - ・解体時の分別解体・分別収集
 - ・石膏粉と紙の分離技術の向上
 - ・生産ラインでの見極め
 - ・改質設備等の「費用負担」

13

新たなリサイクルの取り組み

1. 産業廃棄物処理業者による廃石膏ボード処理の事業化
 - ・搬入された廃石膏ボードを廃石膏粉と紙分に分離
 - ・廃石膏粉は石膏ボードメーカーに戻し再資源化、あるいは焼成して無水石膏や半水石膏にし、他用途へリサイクル
 - ・紙分は再生紙原料、RPF原料、畜産敷材や土木工事などにリサイクル
2. 廃石膏粉の新たな用途展開
 - ・土壌、地盤改良固化工材の原料
 - ・セメント系、石灰系固化工材の添加剤として、またこれらに替わる中性固化工材の主成分として利用 (表-1)
 - ・道路の路床材への石膏系固化工材利用の試みも行われている
 - ・課題として、土壌環境基準のクリア (フッ素、ヒ素、カドミウム等)、硫化水素の発生抑制がある (表-2)

14

表-1 石膏ボードのリサイクル用途 (出典:環境省平成20年度調査報告書)

表題に廃石膏ボードのリサイクル事業を行っている代表的な中間処理業者を対象に、再資源化後の用途及び状況について聞き取り

リサイクル用途	石膏ボードのリサイクル状況
(1) 石膏ボード原料	・複数の事業者で安定型リサイクルを実施 ・関東及び関西において、解体系廃石膏ボードをボードメーカーの受入基準に合格するように処理する異業種連携事業の実施
(2) セメント原料	・廃石膏粉の利用は一般化ではなく、排煙脱硫石膏の利用が主流 ・廃石膏粉の品質管理及び安定供給のための体制作りが必要
(3) セメント系固化工材	・廃石膏粉を加熱処理した半水石膏を一定割合 (約7%) で利用 ・品質を向上させた製品の實用性に向けて研究を行っている
(4) 石灰系固化工材	・用途が限定的であるために、国等の公共工事での使用が中心
(5) 石膏系固化工材	・施工時に土壌の水素イオン濃度を低く保つことからニーズは高いが、フッ素不溶化対策が求められることから、製造コストが高い
(6) 舗装材料	・廃石膏ボードの石膏粉 (二水石膏) をサイケルシウム板の原料として安定的に建材製造メーカーに供給・使用
(7) その他	・新築道路 (数十部) の路床・路体の安定型処分場において、廃石膏粉を含有したセメント材の利用を想定

15

表-2 安全面での課題 (課題への対応策)
(出典:環境省平成20年度調査報告書)

解体時の分別、中間処理での選別及び最終処分場における維持管理の徹底、並びにリサイクル製品製造での添加剤等の工夫により安全性の確保は可能

安全対策の 対象	対象物の概況		解体時の対応可能性	処理時の対応可能性
	有害性	有害となる条件		
アスベスト	呼吸器疾患	主に解体時に発生する	設計図書等による製造年度での選別がサンプル分析を行っており、大半セメントを中心に対応	新建材の分別が必要、石膏粉と紙分を分離して分別処理が必要
フッ素	土壌汚染	土壌固化工材として利用した場合、基準値以上の溶出が起る可能性あり	石膏ボードを土壌改良材としてリサイクルする場合、基準値以上の溶出が起る可能性あり	除去・不溶化処理が不可欠、また製品製造時の混合により濃度の薄まるため、対応は可能である
重金属 (ヒ素、カドミウム)	土壌汚染	土壌固化工材として利用した場合、基準値以上の溶出が起る可能性あり	石膏ボードの製造年度や、製造場所が知られていないため、建物の建設年度や所在地により対応が必要	重金属の不溶化処理が不可欠、また製品製造時の混合により濃度の薄まるため、対応は可能である
硫化水素	有害ガス発生	腐敗分解が、限定された条件下で発生する	水質・土壌汚染等が発生するため、対策時に対応する必要がある	新建材の含有率、コスト面等の使用技術が既にあり、対策と同時進行が可能であるが、より良い処理方法を研究中

16

廃石膏ボードのリサイクル用途別受入想定量
(出典：環境省平成20年度調査報告書)

現状では、排出量推計値と同様の受入可能量が確保されているが、将来的には排出量が増加すると見込まれており、更なる受入可能量を増やす必要がある

廃石膏の排出量推計

廃石膏種類	排出量
新築系廃石膏	40万t
解体系廃石膏	136万t
合計	176万t

年間最大受入可能量予測（石膏粉ベース）

リサイクル用途	最大受入可能量 (石膏粉ベース)
石膏ボード原料	50万t
セメント原料化	66万t
(製鉄所の焼結原料化)	(40万t)
セメント系固化材の添加剤	46万t
石灰系固化材の添加剤	11万t
石膏系固化材	15万t
合計	188万t

※製鉄所の焼結原料は廃石膏受入目処が立っていない 17

2. 「建設リサイクル法見直し」への工業会の対応

- 1) 廃石膏ボード排出予測量調査の実施
- 2) 廃石膏ボードの処理実態調査実施への協力
- 3) メーカーリサイクル率の向上の為に技術開発の推進
- 4) 解体現場での分別解体・異物除去の徹底についての啓発
- 5) 再資源化技術の開発や用途拡大の取り組みへのフォロー

【まとめ】

1. 建設リサイクル制度における「石膏ボード」の取扱い

- ・2007年11月より7回開催された、「建設リサイクル制度の施行状況の評価・検討」を行うための、国土交通省と環境省の諮問委員会の合同会合での「取りまとめ」では、
 - ① 石膏ボードの特定建設資材への指定は見送る
 - ② 解体時の現場分別の徹底について措置を講ずる
 - ③ 将来の指定を念頭に置き、実態調査の実施や再資源化の技術開発・ルートの拡大・需要の育成を図る
 - ④ 廃石膏ボードの現場分別の方法検討と、その費用分担に関する発注者への情報提供を図る
- ・平成22年3月一部改正を予定、目下改正案のパブコメ募集中
石膏ボードについて、再資源化を更に促進するため、上記の②・③と、「石膏ボードに占める廃石膏ボードの割合をさらに向上させる為の技術開発の取り組み」の必要性を明記¹⁸

19

(一般) 泥土リサイクル協会 野口真一 (共同研究者)

第5回廃棄物の循環利用に関するワークショップ
— 建設汚泥リサイクルを取り巻く環境 —

一般社団法人
泥土リサイクル協会
MRA Mud Recycling Association

地球を再生
建設汚泥・汚濁汚泥をリサイクル

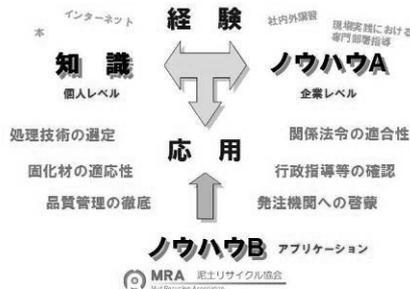
2009.02.26

一般社団法人
泥土リサイクル協会

地盤改良排泥 シールド工法排泥 港湾浚渫土

あらゆる高含水泥土をリサイクル

リサイクルの企画提案ならびに指導



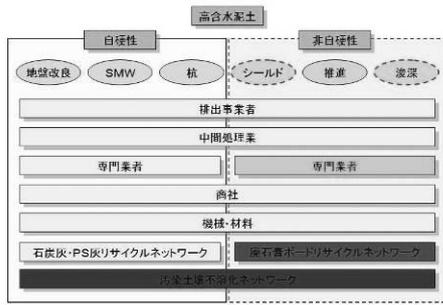
リサイクルの企画提案ならびに指導

泥土再生利用技術
マニュアル
(初版)

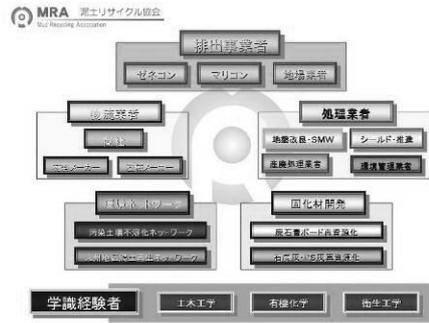
平成21年度
建設汚泥リサイクルに関する
自治体へのアンケート調査
報告書

平成21年5月
泥土リサイクル協会
MRA

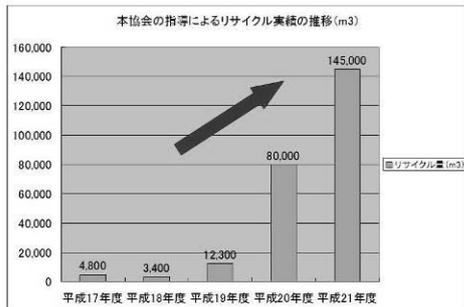
会員情報の共有化



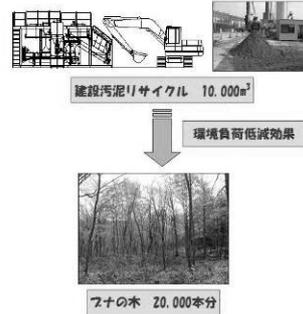
会員情報の共有化(ネットワーク)



リサイクル事業への進出



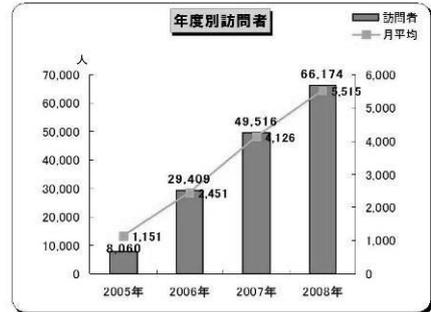
リサイクル事業への進出



協会参画による御社の宣伝効果の向上



協会参画による御社の宣伝効果の向上



泥土リサイクル協会が 御社にもたすメリット

○ リサイクルの企画提案ならびに指導

建設現場のリサイクルは確立された技術も少ないうえ、現場の職員が適切に法令等を理解することは容易ではありません。協会では同等の条件に合わせたリサイクル方法の提案や実施ができます。また、会員相互のネットワークにより、リアルタイムでの人材を拡大することができます。

○ 会員情報の共有化

保有技術が無くても、会員企業が保有している技術や固化工材等を利用することで、リサイクルの提案や実施ができます。また、会員相互のネットワークにより、リアルタイムでの人材を拡大することができます。

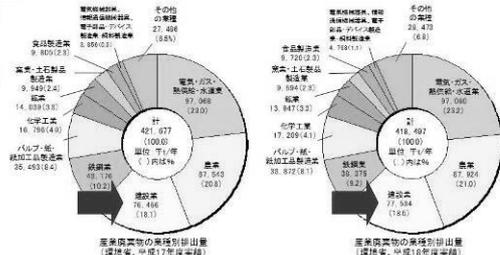
○ リサイクル事業への進出

従来、泥土リサイクルは当該工事の従属的な工事でしたが、技術力の向上により大量処理が可能となったことで、泥土処理工事や浚渫土改良工事として新たな市場が形成されており、これらの需要性が拡大します。

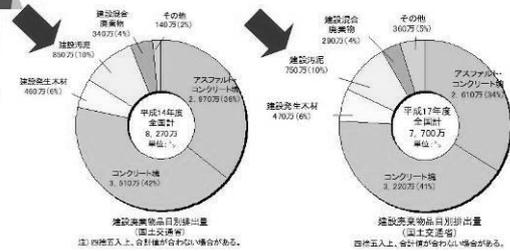
○ 協会参画による御社の宣伝効果の向上

協会活動は多くの自治体から高く評価されています。その協会に参画することで、現場に接する多くの人から認知度が向上するとともに、CSR活動等の宣伝材料となります。

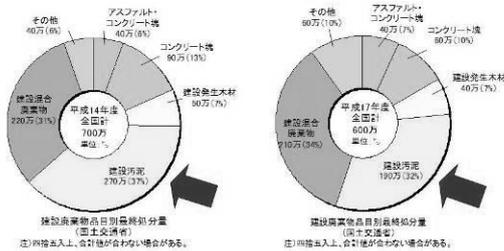
建設副産物の現状



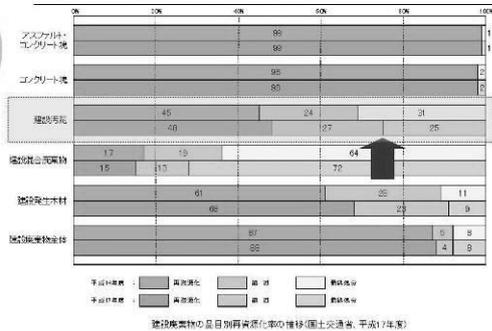
建設廃棄物目別排出量 (国土交通省)



建設廃棄物目別最終処分量 (国土交通省)



建設廃棄物の品目別再資源化率の推移 (国土交通省、平成17年度)



最終処分場の現状①

最終処分場の残容量 (環境省、平成18年4月1日現在)	
最終処分場	残容量 (m ³)
遮断型処分場	19,810 (23,151)
安定型処分場	76,489,791 (72,893,272)
管理型処分場	109,742,463 (111,917,953)
管理型処分場 (うち海面埋立)	33,726,874 (36,574,042)
合計	186,252,064 (184,834,375)

注) 1. 法第15条第1項の許可を受けた施設である
2. 「海面埋立」は、総数のうちの海面埋立分の内数とする
3. ()内は、前年度の調査結果である

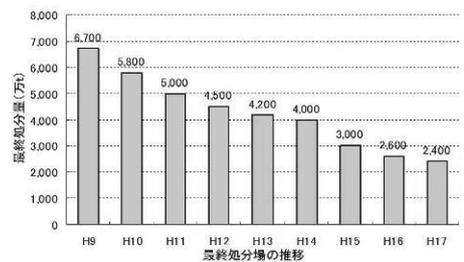
最終処分場の現状②

最終処分場の残容量と残余年数 (環境省、平成18年4月1日現在)

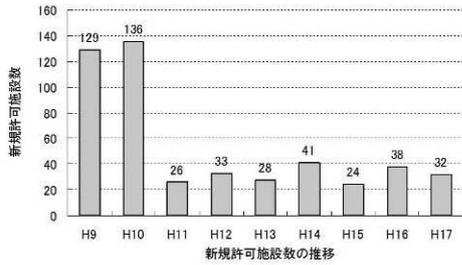
区分	最終処分量 (万t)	残容量 (万m ³)	残余年数 (年)
全国	2,423 (2,583)	18,625 (18,483)	7.7 (7.2)
首都圏	659 (526)	2,229 (1,777)	3.4 (3.4)
近畿圏	422 (393)	2,612 (2,292)	6.2 (5.8)

注) 1. 首都圏とは、茨城県・栃木県・群馬県・埼玉県・千葉県・東京都・神奈川県・山梨県
近畿圏とは、三重県・滋賀県・京都府・大阪府・兵庫県・奈良県・和歌山県を言う
2. 残余年数=残容量/最終処分量とする。(tとm³の換算比をとる)
3. ()内は、前年度の調査結果である

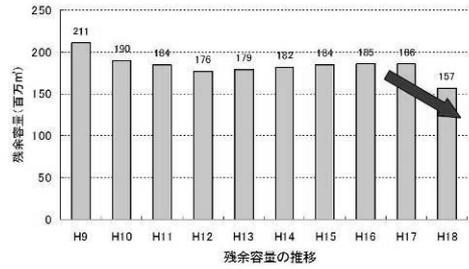
最終処分場の推移



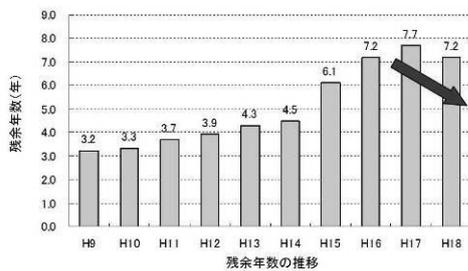
新規許可施設数の推移



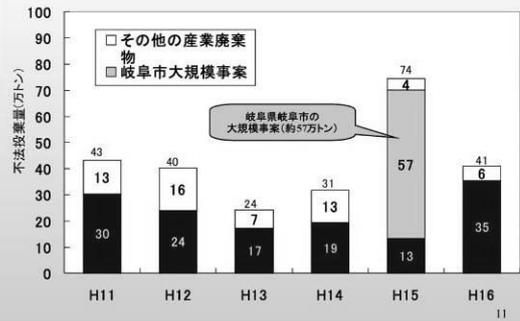
残余容量の推移



残余年数の推移



建設廃棄物の不法投棄量の推移



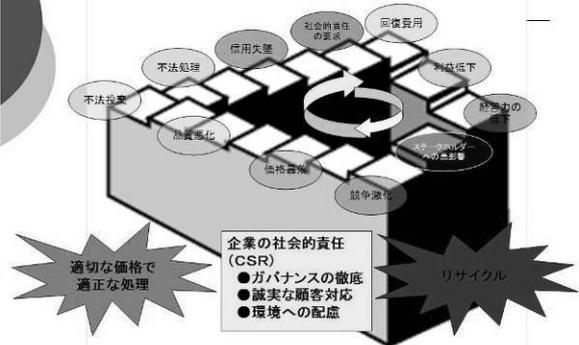
2010年 産業廃棄物処理制度見直しのポイント

＜排出事業者責任をさらに強化＞

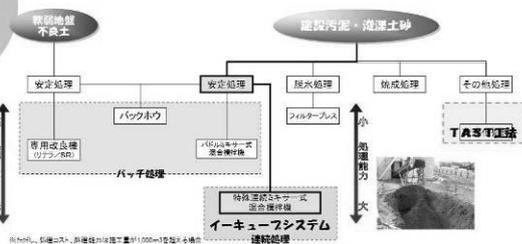
- ① 自ら処理の確保としての帳簿の作成・保存
- ② 委託処理の確保としての実地確認
- ③ 建設系廃棄物で排出事業者を明確化
- ④ 中間処理後物の保管基準の適正化
- ⑤ 産業廃棄物処理業者の優良化
- ⑥ 廃棄物処理施設の透明化
- ⑦ 多量排出事業者処理計画制度の充実
- ⑧ 再生利用認定制度の充実

(中央環境審議会産業物・リサイクル部会 産業廃棄物処理制度専門委員会報告書(案)抜粋)

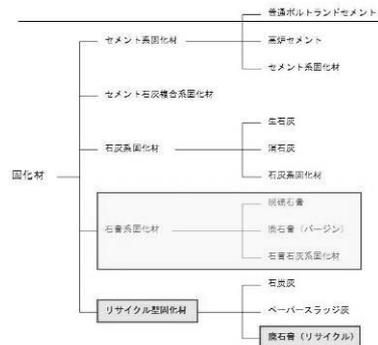
建設業における環境デフレスパイラル



高含水泥土の改良技術



高含水泥土用固化材分類



第6回廃棄物の循環利用に関するワークショップ

地域の「地廃地消」の循環型社会形成を推進する全国規模のつながり

【日 時】	2011 年 1 月 6 日(木) 13:00～18:00
【会 場】	キャンパスイノベーションセンター東京(CIC) 1F 国際会議室 105-0023 東京都港区芝浦3-3-6 (JR 田町駅前)
【主 催】	富山高等専門学校・環境省循環型社会形成推進科学研究費研究班(K22055)
【参加費】	無料

建設廃棄物の中でリサイクルが渴望されている廃石膏ボードについて、その軟弱地盤・建設汚泥固化材などの土木資材への再利用に高い関心が集まっています。そのなかで、平成 20 および 21 年度に行われた環境省の「廃石膏ボードの再資源化促進方策検討業務調査」において、セッコウ中のフッ素化合物などがその障壁になることが明示されました。また固化材のリサイクル原料である焼却灰等の安全管理など、未だ解決すべき課題は多く存在します。

富山高等専門学校では、地域に根ざした新しい廃棄物循環モデルの構築・発信を目的に、平成 20 年度から環境省の補助を受けて研究を進めてきました。その成果として、現場で廃石膏ボード中のフッ素化合物等の分析を可能とする技術を開発し、さらに地域に根ざした産学連携によるイノベーション構築事例の調査等の取り組みを進めています。

本ワークショップは、私達の研究成果の紹介のみならず、我が国での先行事例のご紹介を通して、建設廃棄物の地域における安心・安全な循環利用に資するしくみづくりの将来像について議論することを目的として開催するものです。

また、パネル展示で本プロジェクトに関連する研究成果のご紹介、共有を行いたいと考えています。

多くの方に参加いただき、共有の機会としていただければ幸いです。

●プログラム●

12:45 受付

13:15 開会

13:20 研究内容・成果概要の説明

「地域に根ざした廃石膏ボード・建設汚泥リサイクルに資するしくみづくりとは」

研究代表 富山高等専門学校 専攻科 准教授 袋布 昌幹

14:00 招待講演1

「廃石膏ボードのリサイクルに関する化学的研究」

日本大学理工学部 教授 小嶋 芳行

14:40 休憩・パネル展示(1)

15:10 成果報告

「廃セッコウボード中の環境汚染物質の簡易分離技術とオンサイト分析への応用」

富山高等専門学校 専攻科 助教 間中 淳

「地域に根ざした建設廃棄物リサイクル企業の倫理的企業成長モデル」

富山高等専門学校 専攻科 准教授 宮重 徹也

15:50 休憩・パネル展示(2)

16:20 パネルディスカッション・総合討論

「地域に根ざした地廃地消ビジネスを実現するしくみづくりとは」

司会 (社)泥土リサイクル協会 事務局長 野口 真一

パネラー (社)石膏ボード工業会 専務理事 林 宏治

島根大学総合理工学部 准教授 笹井 亮

(株)タケエイ 経営企画部 経営戦略グループ 田中 義朗

富山高等専門学校 准教授 袋布 昌幹

18:00 閉会

平成 22 年度環境省循環型社会形成推進科学研究費（K22055）事業

第6回廃棄物の循環利用に関するワークショップ

地域の「地廃地消」の循環型社会形成を推進する
全国規模のつながり

講演資料集

2011 年 1 月 6 日(木)

キャンパスイノベーションセンター東京（CIC） 1F 国際会議室

主催： 富山高等専門学校・環境省循環型社会形成推進科学研究費研究班(K22055)

廃石膏ボードのリサイクルに関する化学的研究

日本大学 小嶋芳行

1 はじめに

石膏ボードは防火性、軽量、遮音に優れているため、建築物の天井・壁などの内装用建材として非常によく使用されており、年間4.4億 m^2 (平成21年統計)程度製造されている。これに対して、解体系、および新築系の廃石膏ボードの排出量の合計は100~110万t程度で推移している。廃石膏ボードは管理型廃棄物に指定されているため、管理型処分場で保管しなければならない。しかし、硫化水素の発生やヒ素イオンなどの流出による地下水汚染により、廃石膏ボードを減容することが必要となっている。現在、新築系解体や裁断不良などで生じた石膏ボード廃材は石膏ボードの原料として利用されている。しかし、石膏ボード中の二水石膏の粒径は1~3 μm 程度と小さい。このため、廃石膏ボード粉末を原料中に多量に添加すると凝結不良、ボードの強度低下を招くことから、この添加量は10%以下とされている。石膏のもっとも使用量の多いのは石膏ボードである。しかし、二水石膏の最大用途である石膏ボードに戻すためには微細な二水石膏を大形化させる必要がある。

演者は、これまでに硫酸と石灰石との反応による直接石膏硬化体の作製^{1,2)}、繊維状石膏の合成およびその難溶化^{3,4)}など液相反応による石膏の合成について研究を行ってきた。また、平成11年NEDO(新エネルギー・産業技術総合開発機構委託)の「解体廃石膏ボードの再資源化技術」に参画した。ここでは、二水石膏の大形化に関する研究を行った。このため、本講演では、石膏の溶解量を基にした微細二水石膏から大形二水石膏の合成を中心に、さらに廃石膏ボードの利用法について報告する。

2 石膏の溶解量

図1は石膏の溶解量を示したものである。二水石膏の溶解量は温度の上昇に伴いわずかに増大し、38°C付近において最大となる。これ以降において二水石膏の溶解量はわずかながら低下する。一方、半水石膏には α 型と β 型半水石膏が存在するが、 α 型半水石膏のほうが β 型半水石膏と比較してわずかに溶解量が低い。いずれの半水石膏の溶解量も温度の上昇にともない低下する。二水石膏と α および β 型半水石膏の溶解量の交点はPowerらによりそれぞれ97°C、106°Cとされている⁵⁾。すなわち、二水石膏懸濁液を106°C以上で保持することにより、半水石膏が生成することになる。

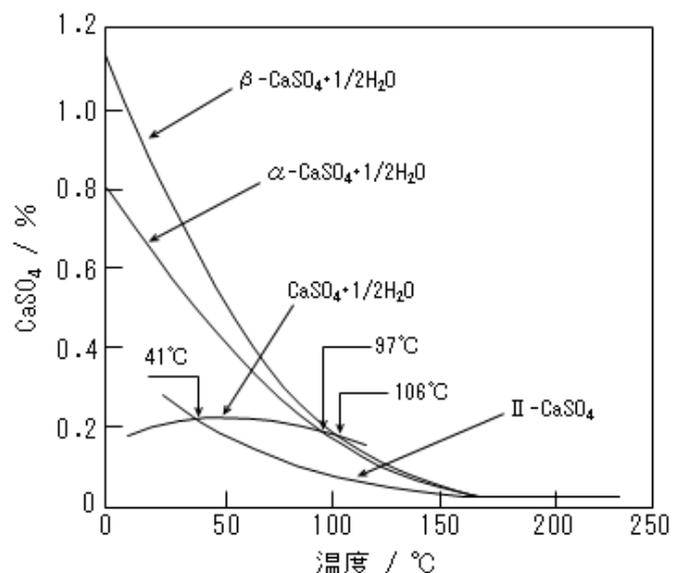


図1 石膏の溶解量

3 溶液反応による廃石膏ボードの大形化

演者らは廃石膏ボード中の二水石膏を大形化に関する知見をもっており、それを以下に記す^{6,7)}。この実験に用いた廃石膏ボードは市販石膏ボードの粉碎物である。これを粉碎し、目開き1mmのふるいを通した

ものを試料として用いた。二水石膏の純度は 90%程度であった。初めに行っていた方法は図 1 で示した石膏の溶解度差を用いる方法である。二水石膏の懸濁液を加熱して半水石膏とし、この懸濁液の温度を下げることにより再び二水石膏を得ることを考えた。100℃付近において二水石膏を半水石膏に時間をかけることにより脱水することは可能であるが、脱水時間を促進させるためには添加剤の選定が必要である。図 2 に 100℃で廃石膏ボード中の二水石膏の脱水水に及ぼす時間の影響を示す。なお、この時の懸濁液濃度は 33% (水/固体質量比=1/2) である。添加剤を配合しない場合では、6 時間保持しても二水石膏のままであった。NaCl を添加剤として用いた場合には、

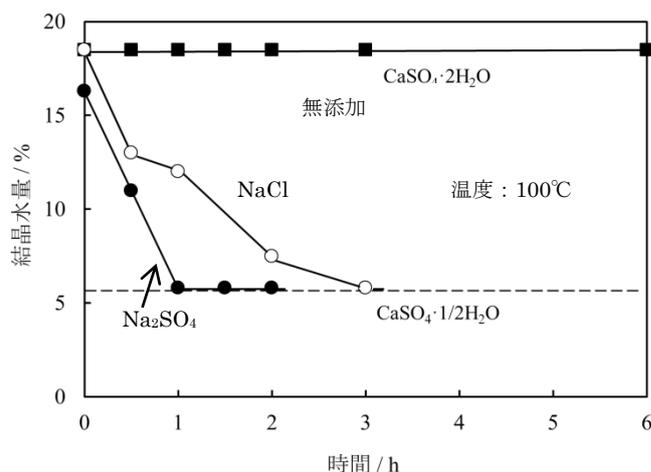


図 2 二水石膏の脱水に及ぼす添加剤の影響

時間の経過に伴い結晶水量は低下し、3 時間で半水石膏の理論結晶水量に達した。一方、Na₂SO₄ を用いた場合では、1 時間で理論結晶水量に達した。これより、添加剤としては Na₂SO₄ を用いた。10% Na₂SO₄ 水溶液中に廃石膏ボード試料を加え、この懸濁液をマントルヒータで加熱した。得られた半水石膏懸濁液の温度をゆっくり下げると、二水石膏が析出する。この時、下げる温度により得られる二水石膏の粒径は変化する。もっとも大形の二水石膏が得られるのは 60℃であった。さらに、大形の二水石膏を得るために種結晶を用いた。大形の種結晶を用いた場合、115μm の種結晶を 1% 程度添加することにより平均粒径 120μm の二水石膏が得られた。

しかし、この二水石膏中に Na⁺ イオンが含まれていることがわかり、これが原因となってボード用紙との接着性が低下するとの指摘があった。そこで、Na⁺ イオンを含まない系を模索した結果、NH₄Cl を用いても廃石膏ボード内の二水石膏を大形化することは可能であった。Na₂SO₄ と同じような手法により平均粒径 70μm 程度の二水石膏を作製することが可能であった。

現在では、添加剤としてクエン酸を用いて、さらに多段階水和を用いた二水石膏の大形化を行っている⁸⁾。これまでの方法は二水石膏→半水石膏→二水石膏としていた。この方法では水溶液全体の温度を変化させなければならない。これに対して、半水石膏は二水石膏を加熱することにより作製することとした。すなわち、既存の施設を使用することにより二水石膏を半水石膏に脱水させることは容易である。この半水石膏をクエン酸水溶液中に所定時間ごとに添加することにより、半水石膏は水和して二水石膏となる。さらに、添加した半水石膏は懸濁液中で溶解-析出して既存する二水石膏を大形化するのに用いられる。すなわち、反応を半水石膏→二水石膏の一方向だけとした。この方法の特徴は、クエン酸水溶液に半水石膏を所定時間ごとに、所定量の半水石膏を添加することにより、二水石膏が順次大形化し、非常に高い懸濁液濃度(60mass%)まで高めることがで

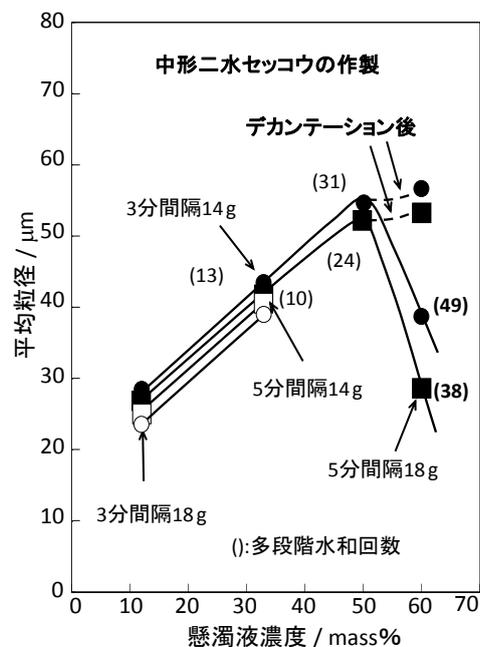


図 3 中形二水石膏の粒径に及ぼす懸濁液濃度の影響

きることである。

図 3 に懸濁液濃度と二水石膏の平均粒径の関係を示す。添加量と添加間隔は多種多様な組み合わせで行った結果、14gの半水石膏を3分ごとに添加することが有効であった。これは連続的に添加するのではなく、所定時間おきに添加することが特徴である。懸濁液濃度の増大に伴い粒径は増大し、懸濁液濃度 50mass% において最大の 50 μm 程度となった。しかし、これ以上の懸濁液濃度では粘性の増大により平均粒径は低下した。これをデカンテーション(微細な粒子の除去)することにより平均粒径は懸濁液濃度 50%と同程度となった。なお、懸濁液濃度 50%と 60%で生成した二水石膏の粒径が同じであるメリットは、得られる二水石膏の量である。50%に対して60%での得られる二水石膏量は1.2倍以上となる。これにより、得られた二水石膏は中形二水石膏となる。さらに、この中形二水石膏を種結晶として再度同じ操作をすることにより、平均粒径 70 μm 程度まで増大させることが可能となった。これを大形二水石膏とした。この大形二水石膏は半水石膏の凝結に影響する量の 2 倍程度のクエン酸を含んでいた。しかし、大形二水石膏を加熱して半水石膏とし、これの凝結の際に二水石膏を種結晶として添加することにより、市販焼き石膏と同じ凝結時間を示した。

4 廃石膏ボードを用いた応用研究

近年、省エネルギー住宅が期待されており、国外で広く利用されている石膏ブロックへの廃石膏ボードの有効利用の可能性について検討している⁹⁾。実験をするにあたり、ボード用原紙を付けたまま厚さ 12.5mm の石膏ボード (JIS A 6901, GB-R) を 70×40×12.5mm に裁断した。これらをそのまま電気炉に入れ、200°C で 15 分間加熱した。これにより、石膏ボード廃材の石膏部分が脱水して半水石膏となった。半水石膏の生成により紙との接着性が低下し、石膏とボード用原紙は弱い力で分離できるようになった。得られた石膏板の表面は半水石膏となっているため、ここに水を噴霧すると二水石膏に水和する。これを利用して石膏板どうしを重ねてブロック化させた。石膏ブロックの厚さと強さの関係を図 4 に示す。2 枚の時の場合には、3.8MPa 程度の強さであった。枚数を重ねるごとにブロックの強さは弱くなるが、5 枚以上で 3.1MPa 程度で平衡となった。

廃石膏ボード廃材中のボード用原紙を活用することも行っている。廃石膏ボードのボード用原紙に ZnCl_2 水溶液を塗布し、これを 700°C で数分加熱する。これによりボード用原紙が炭素化する。二水石膏は高温で半水石膏を経て、一部はⅡ型無水石膏に脱水される。半水

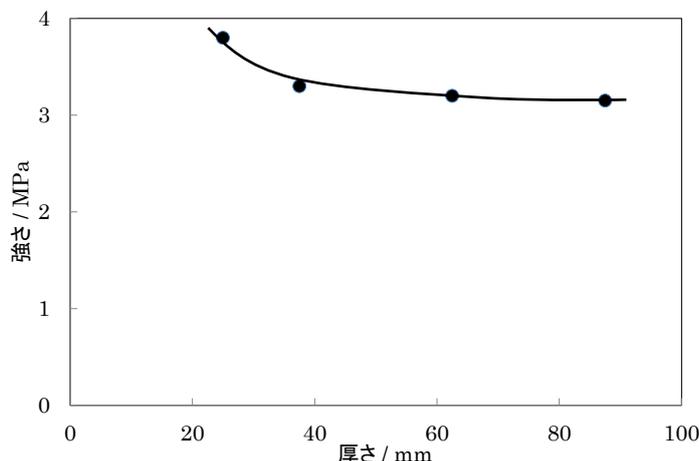


図 4 石膏ブロックの厚みと強さの関係

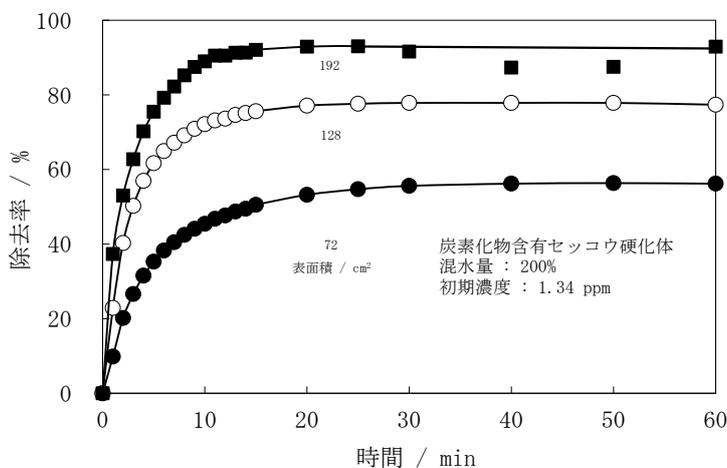


図 5 ホルムアルデヒド除去率に及ぼす炭素化物の比表面積の影響

石膏を含むため水硬性を有しており、水を加えてこの加熱物を練ると硬化する。これにより炭素化物含有石膏硬化体を作製することができる¹⁰⁾。炭素化物を含むためこの硬化体は揮発性有機化合物(VOC)を吸着することができる。図5にホルムアルデヒド除去率に及ぼす炭素化物の比表面積の影響を示す。比表面積72m²/gの炭素化物を含む硬化体ではホルムアルデヒドの除去率は50%程度である。炭素化物の比表面積の増大に伴い、ホルムアルデヒドの除去率が高くなる。そして、比表面積192m²/gの炭素化物を含む硬化体での除去率は90%程度まで向上する。

これまでは、廃石膏ボードを石膏ボードの原料にすることを考えていたが、石膏ボード工業全体を俯瞰してみることにする。石膏ボードの原料は半分程度が排煙脱硫石膏である。この排煙脱硫石膏は脱硫したSO₂と炭酸カルシウムあるいは水酸化カルシウムを反応させて生成したものである。そこで、二水石膏から水酸化カルシウムを合成することを考える¹¹⁾。二水石膏をKOH水溶液中に浸漬させるとすみやかに水酸化カルシウムが生成する。このときの水酸化カルシウムの生成率変化を図6に示す。反応は速やかに進行し、15分で完全に二水石膏は消滅して水酸化カルシウムとなる。二水石膏から水酸化カルシウムを生成することができれば、この生成した水酸化カルシウムを再び排煙脱硫時に使用して二水石膏を得ることができる。すなわち、二水石膏の完全リサイクルを行うことが可能である。

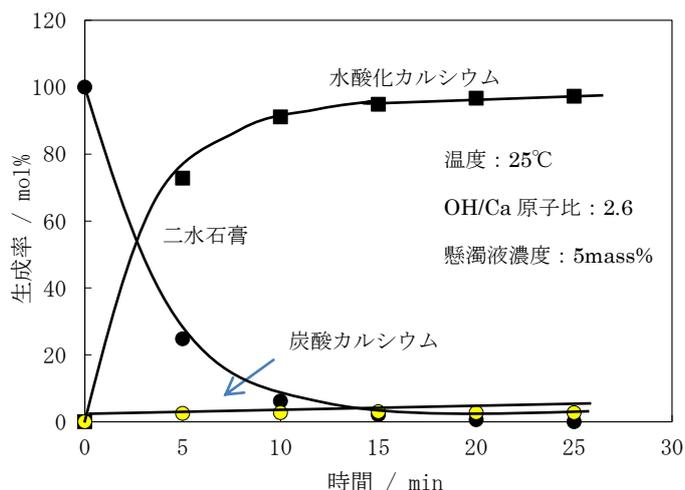


図6 水酸化カルシウムの生成率に及ぼす時間の影響

5 おわりに

廃石膏ボードを化学的手法によりリサイクルすることについて述べた。今後、廃石膏ボードから付加価値の高い新たな材料創製へのチャレンジが必要であり、一例として石膏から蛍光体の作製なども行っている。

引用文献

- 1) 荒井康夫, 安江 任, 小嶋芳行, 石膏と石灰, No.203, 7-14(1986).
- 2) 安江 任, 小嶋芳行, 瀬高俊哉, 荒井康夫, 石膏と石灰, No.209, 37-43(1987).
- 3) 安江 任, 小嶋芳行, 荒井康夫, 日本化学会誌, **1988**, 1556-1564.
- 4) 安江 任, 小嶋芳行, 荒井康夫, 日本セラミックス協会誌, **98**, 483-489(1990).
- 5) W.H.Power, B.M.Fabuss, C.N.Satterfield, *J.Chem.Eng.Data*, **9**, 437(1964).
- 6) 小嶋芳行, 川村保雄, 勝本浩志, 横山 至, 安江 任, *J.Soc.Inorg.Mater.Japan*, **11**, 287-292(2004).
- 7) Y.Kojima, T.Yasue, *J.Euro.Ceram.Soc.*, **26**, 771-776(2006).
- 8) 小嶋芳行, 細野卓也, 西宮伸幸, “第121回無機マテリアル学術講演会要旨集”, (2010)p.20.
- 9) 小嶋芳行, 安江 任, 荒井康夫, *J.Soc.Inorg.Mater.Japan*, **7**, 460-466(2000).
- 10) 小嶋芳行, 船田 祥, 安江 任, *J.Soc.Inorg.Mater.Japan*, **11**, 212-218(2004).
- 11) 小嶋芳行, 遠山岳史, *J.Soc.Inorg.Mater.Japan*, **14**, 281-286(2007).

地域に根ざした廃石膏ボード・建設汚泥リサイクルに資するしくみづくりとは

富山高等専門学校専攻科 准教授 袋布 昌幹

〒939-8630 富山市本郷町13 tafu@nc-toyama.ac.jp

1. はじめに

建設リサイクル法が施行された後、木材等の特定建設資材についてはそのリサイクルが進行し、産業廃棄物の多くを占める建設廃棄物の発生抑制が実現しつつある。しかしながら、建設工事で発生する建設汚泥、建築物の内壁材として広く用いられている石膏ボードについては、そのリサイクルは遅々として進んでいない現状にあるといえる。

そのような状況下、環境省によって廃石膏ボードリサイクルの方策に関する調査が行われ、そのリサイクル法として建設汚泥や軟弱地盤の固化材としての再利用に着目が集まっている。さらに、そのリサイクル実現のためには、セッコウ中に含まれるフッ素化合物などの化学物質の制御が課題となっていることも明文化された。本稿では、廃石膏ボードリサイクルにおいて問題となっている「フッ素問題」について、その現状と課題に加え、著者らのグループがこれまでに進めてきた研究成果を概説する。

2. 廃石膏ボードの土木資材への利用とフッ素問題

石膏ボードは二水セッコウ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)の固化体の両面を紙(ボード原紙)で挟んだものであり、その高い加工性、防音性、耐火性を活かし、建築物の内壁材として広く用いられている。石膏ボードに用いられる二水セッコウは、火力発電所の排煙脱硫プロセスで副生する排脱セッコウ、肥料等の原料物質であるリン酸の製造の際に副生する磷酸セッコウ、フッ素やチタンを製造する際に生成するセッコウなどの化学セッコウ、および一部海外から輸入された天然セッコウである。一方ボード原紙は、古紙からリサイクルされた紙が用いられており、石膏ボードの原料そのほとんどがリサイクル資材であり、石膏ボード産業はそれ自身が我が国の未利用資源の循環利用に大きく貢献してきたものであるといえる。

一方、廃石膏ボードには「新築系」と「解体系」の二種類がある。前者はボード製造時や建築物の施工時に発生する端材であり、現在ではそのほぼ全量が石膏ボードの原料として再利用されている。一方建築物の解体工事に伴って発生する後者の解体系ボードはその多くが埋め立て処分されている。最終処分場の逼迫に加え、最終処分場で石膏ボードが原因と考えられる硫化水素による死亡事故が発生したことにより、廃石膏ボードのリサイクルの需要が急速に高まっている。

廃石膏ボードのリサイクル法として石膏ボードの原料として再利用することがもっとも望ましいと考えられるが、これには問題点がある。石膏ボードに用いられるセッコウは大きな粒子であることが求められる。これは混和に際して使用する水の量を低減し、結果として製品の強度を向上させることができるためであるが、廃石膏ボードから回収されたセッコウ粒子は粒子径が小さく、ボード原料としての再利用が制限される。この対策技術として、廃石膏ボードから回収されたセッコウ粒子を粗大化させる手法¹⁾が検討されている。

廃石膏ボードのリサイクル先として、軟弱地盤や建設汚泥の固化材の原料として廃石膏ボードから回収したセッコウ粉末を用いる取り組みが注目されている。特に建設汚泥の固化材への利用においては、建設廃棄物でリサイクルが渴望されている廃石膏ボードと建設汚泥を同時にリサイクル可能であることから関心が高い。平成20および21年度に環境省が行った調査^{2,3)}においても、このような廃石膏ボードの土木資材への利用について多くのページが割かれている。

しかし図 1 に示すように、廃石膏ボードをこの種の土木資材として再利用する際に、原料として使用されている化学セッコウ中に含まれるフッ素化合物等の不純物とその障壁となる。セッコウ中にフッ素化合物等が含まれていると、土木資材として利用した際に周囲の土壤にこれら不純物が溶出し、結果として土壤汚染を引き起こす懸念がある。図 2 に過去の調査⁴⁾でまとめられたセッコウ中のフッ素化合物およびセッコウからのフッ素溶出量をまとめた結果を示すが、多くのセッコウ試料が土壤環境基準の「溶出規準」を超過しており、

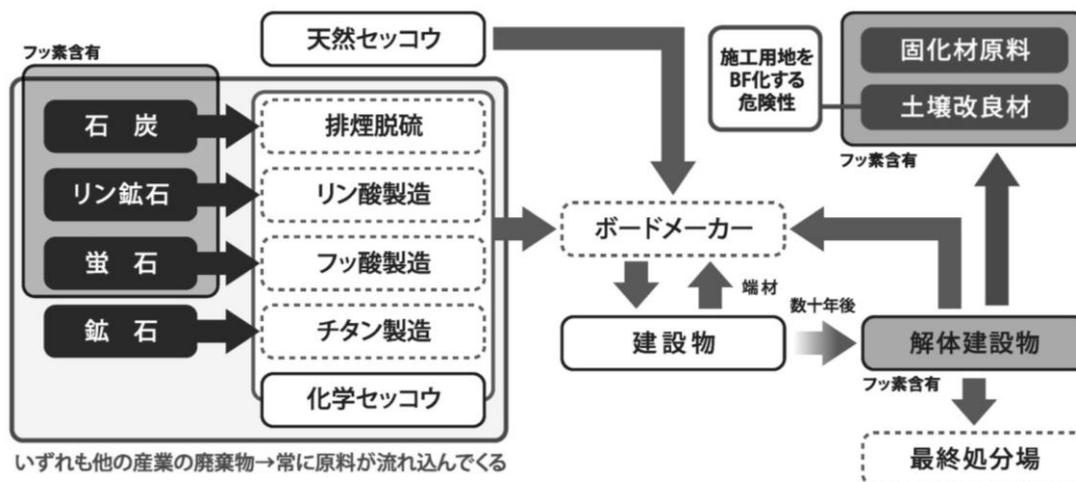


図 1 石膏ボード製造と、廃石膏ボードリサイクルの材料フローの概念図

その対策が必要となることがわかる。著者らはリン酸カルシウム的一种である DCPD (リン酸水素カルシウム二水和物) がフッ化物イオンと反応して難溶性の FAp (フッ素アパタイト) を生成する^{5,6)}ことに着目し、セッコウ中フッ素化合物を高度に不溶化できることを明らかにした⁷⁾。この手法によって得られた固化材を用いて建設汚泥の再資源化を試みたところ、フッ素化合物の溶出⁸⁾、固化体の力学的特性⁹⁾とも良好な結果を得ることができた。一方、DCPD の粒子表面にナノスケールの前駆体を生成させることにより、セッコウ中のフッ素化合物をより高度に不溶化できることを明らかにしている¹⁰⁾。DCPD を用いたフッ素不溶化材は、今年より上市されている。

一方、セッコウ中のフッ素化合物含有量を簡易分析する手法として、従来の過塩素酸による水蒸気蒸留にかわり、陽および陰イオン交換樹脂を浸漬させた純水中でセッコウを5分以内で溶解させ、液中に残存したフッ化物イオン濃度を簡便な比色分析法で評価できる技術を開発した¹¹⁾。現在、セッコウからのフッ素溶出量を簡易分析できる前処理技術の開発、セッコウ中に含まれる他の不純物のオンサイト評価技術の検討を進めているところである。

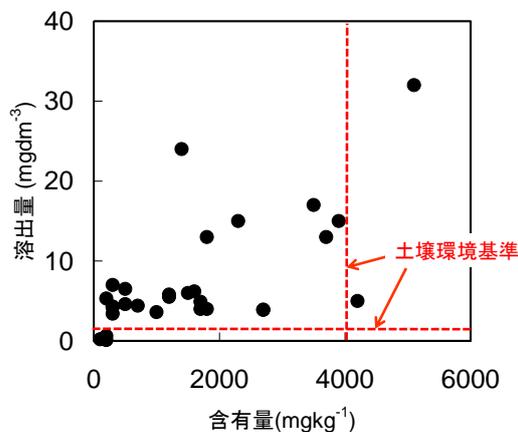


図 2 各種セッコウ試料中に含まれるフッ素化合物量 (横軸) およびフッ素溶出量 (縦軸)

3. 地域の「地産地消」を実現するしくみ、技術とは

著者らは廃石膏ボードリサイクルにおいて、セッコウ中のフッ素化合物がその障壁となっているとの情報入手し、平成16年度から2期(1期3年)にわたり、環境省の科学研究費の補助を受けて対策技術の研究を進めてきた。平成20年度から3年間の第2期では、廃石膏ボードの建設汚泥固化材等の土木資材への安心・安全リサイクルを可能とするシステム開発を進めてきた。当初は前項で述べた分析技術で得られた結果を電子マニフェストに乗せ、当事者間でデータを共有するICTを用いたシステム開発をイメージしていたが、実際に廃石膏ボードリサイクルに取り組む事業者との面談を重ねるにつれ、その考え方に大きな変化が生じた。

図3に示すように、廃石膏ボードを土木資材に活用する際、廃棄物の収集、中間処理、固化材製造、建設汚泥リサイクルの施工と、これまで連携することが少なかった業種間で原料や製品が流通する。

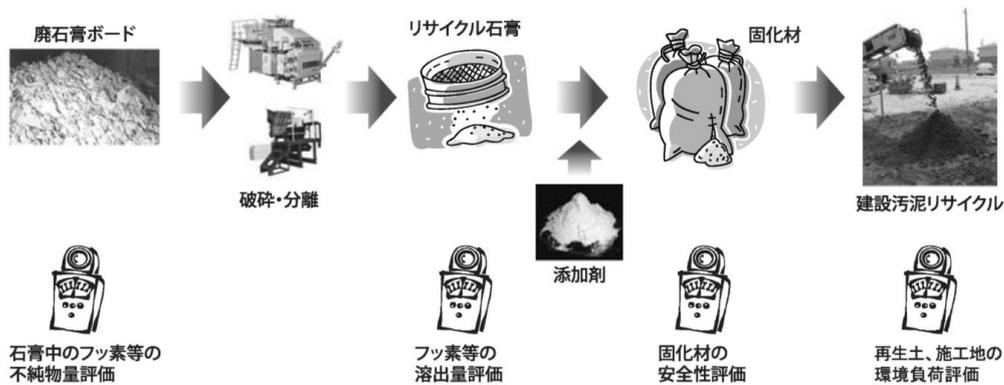


図3 廃石膏ボードの土木資材へのリサイクルフロー

調査を進めていくなかで、これらのリサイクルを経済的に成立させるためには地域内での小規模な連携体で廃棄物の再資源化を進め、そのなかでは電子マニフェストよりむしろ、その連携体で安全性を担保できる手法を共有化することが重要であることが見いだされた。また地域により、廃石膏ボードの収集量、再資源化の手法、リサイクル製品の性質が異なるため、その地域の連携体に適した技術の構築が必要である。また、この種の事業に関わる業種はいわゆる中小企業が多いことから、新規技術の開発を最初から行うことは容易ではないことも見いだされた。

新規技術の構築においては、いわゆる公設試や教育機関との共同研究が有効なツールであると考えられる。しかし、教育機関側から見た産学連携は、図4の左に示すように、「1対1」でシーズとニーズがマッチングする事例がほとんどであり、図3のような種々の業種が連携した事例に対しての事例がきわめて少ない。



図4 産学連携のスキームの概念図 左:従来型 右:次世代型

このような複合化した技術体系に対応するためには、教育機関や研究機関も並列に「パズルのピース」のような立場でその役割を共有し、新しい技術課題をこの連携体から産み出すオープンイノベーション型の体制がまず必要であると考えられる。その際、関連するキャストがフェース・トゥ・フェースのコミュニケーションを構築していくこととなるが、それを実現するために重要な因子として、それぞれのキャストの倫理観の構築・浸透が重要であると考えられる。連携体に属する一部の企業だけが短期的な利益を追求すると、結果として全体の連携体のバランスが崩壊し、結果として技術の完成度が低くなることになりかねない。現在、全国の連携事例の調査において、「企業倫理の構築が長期的には企業利益につながる」モデル¹²⁾の廃石膏ボードリサイクルに適応性について検討を進めている。

一方リサイクル技術に着目すると、全国で廃石膏ボードリサイクルに行き詰まっている事例は、目の前に存在する「廃石膏ボード」に対応した技術を全国から探す手法をとっているのに対し、比較的順調に事業が進んでいる事例では、すでに既存技術、先進技術を有する企業が、その原料物質として廃石膏ボードに着目し、その利活用に必要な技術を連携体の中で構築、それをコア技術にすることにより、新しいビジネスを生み出すことができているようである。今後、経営戦略、MOT 的な立場からこれらの事例を調査検討し、「廃石膏ボードリサイクルを成功にみちびく“しくみづくり”」の普遍化が期待される。

4. おわりに

拙稿では、環境省科研費でこれまで著者らが進めてきた検討結果を中心に、廃石膏ボードリサイクルに必要なしくみづくりについて著者の見解を述べた。著者の専門は材料科学であることから、経営戦略については調査の中で感じた印象を述べることしかできないが、是非とも経営戦略、MOT 的な視点から本研究を評価いただき、安心・安全な廃石膏ボードリサイクルのしくみの構築につなげることができればと考えている。

関係各位のご指導をいただければ幸いである。

5. 参考文献

- 1) Y.Kojima, T.Yasue, *J.Eur.Ceram.Soc.*, **26**, 771 (2006)
- 2) 環境省平成 20 年度 廃石膏ボードの再資源化促進方策検討業務 調査報告書 (2009)
- 3) 環境省平成 21 年度 廃石膏ボードの再資源化促進方策検討業務 調査報告書 (2010)
- 4) (社)石膏ボード工業会, ”解体廃石膏ボードの再資源化技術開発”, NEDO 委託事業報告書, p.14 (2001)
- 5) L.C. Chow, W.E. Brown, *J. Dent. Res.* **52**, 1220 (1973)
- 6) 袋布昌幹, 丁子哲治, *J. Ceram. Soc. Jpn.*, **113**, 263 (2005)
- 7) M. Tafu, T. Chohji, *J. Eur. Ceram. Soc.*, **26**, 767 (2006)
- 8) 袋布昌幹, 丁子哲治, 伊永隆史, *環境と安全*, **1**(2), 33 (2010)
- 9) 今山真治, 中村吉男, 奥村哲夫 他, *土木学会第 64 回年次学術講演会論文集*, 923-924 (2009)
- 10) M. Tafu, T. Chohji, I. Morioka et al., *Trans. MRS-J*, 35(2), 377 (2010)
- 11) A. Manaka, H. Sawai, M. Tafu et al., *J. Ecotech. Res. in press*
- 12) 宮重徹也, ”医薬品企業の経営戦略—企業倫理による企業成長と大型合併による企業成長—”, 慧文社, (2005)

廃セッコウボード中の環境汚染物質の簡易分離技術と

オンサイト分析への応用

富山高等専門学校 専攻科 助教 間中 淳

1. はじめに

建築物の解体に伴い大量に生成する廃セッコウボードの有効なリサイクル方法として、肥料、固化剤等の土壌改質剤への転用が行われているが、その際、セッコウ中に含まれるフッ素、ヒ素、カドミウム等の不純物が土壌および周辺の水環境を汚染する問題が残されていた。そのため、安心・安全なリサイクルのためには、セッコウ中の不純物の分析法およびその対策技術の構築が必要とされてきた。しかしながら、セッコウの水に対する溶解度が低いことから、セッコウ中の不純物を分析する際、前処理として過塩素酸等の危険な試薬を用いる長時間の蒸留操作を行う必要があった。そのため、現場での迅速な分析は困難であり、現状では、抜き取り検査に依存する問題が残されていた。

一方、当研究室においてセッコウと水の混合物にイオン交換樹脂を添加すると、Fig.1 に示すようにセッコウの溶解度が著しく上昇し、セッコウ中の不純物が溶液中に分離されることを見出した。したがって、これらの知見から、本研究では、このイオン交換樹脂溶解現象をセッコウ中の不純物分析のための前処理法として検討した。また、市販されている簡易計測キットと組み合わせることで、リサイクル現場で誰もが、簡単に行えるセッコウ中の不純物のオンサイト分析法を提案する。

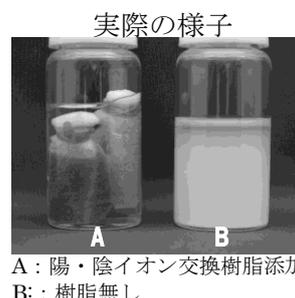
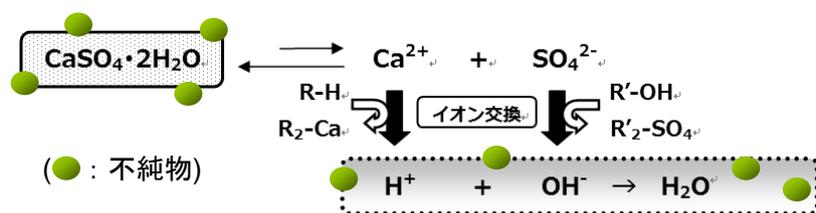


Fig.1 セッコウのイオン交換樹脂溶解現象

2. セッコウ中のフッ素分析の検討

Fig.2 に示すように溶液中にフッ素が分離できることが可能であった。また、本法を前処理法とすることで、Fig.3 に示すようにセッコウ中のフッ素含有量を測定することが可能であった。

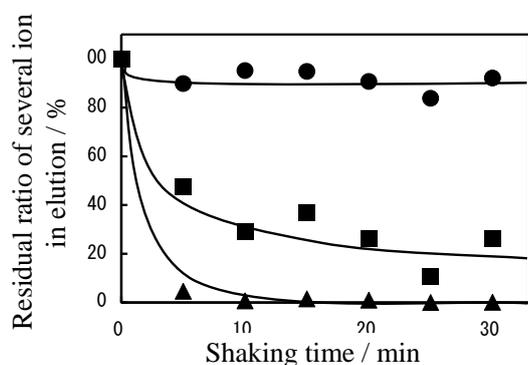


Fig.2 フッ素の分離挙動

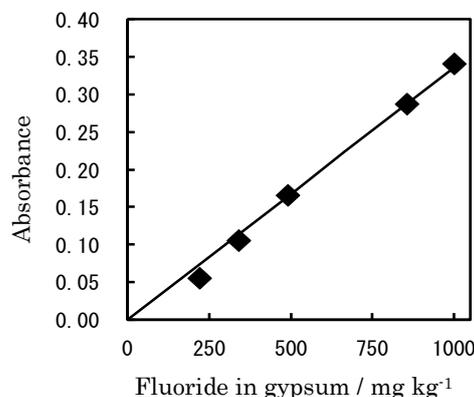


Fig.3 フッ素の測定結果

また、Table.1 の結果より、本法が実際の廃セッコウボードに用いられているセッコウ試料中のフッ素の含有量測定に用いることが可能であっただけでなく、Fig.4 に示すように市販の簡易計測キット(共立理化学研究所製デジタルパックテスト)との組み合わせによる測定も可能であり、分析時間の大幅な短縮を可能とした(前処理 5 分+計測 15 分)。これらの結果は、本法のリサイクル現場におけるオンサイト分析への可能性を示唆している。

Table 1 実試料への応用

Sample	fluoride mg kg ⁻¹		Detection	Recovery*
	Content	added		
N0.1	193	208	381	95
No.2	2094	995	2802	91

* Recovery = Detection / (content + added)

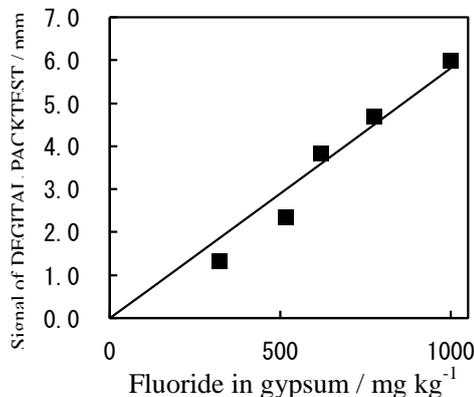


Fig.4 デジタルパックテストへの応用

3.セッコウ中のヒ素の分析に関して

また、陽イオン交換樹脂のみを添加することで、Fig.5 に示すようにセッコウ中のヒ素を高効率で溶液中に分離することが可能であった。陽イオン交換樹脂のみを用いた場合、処理した溶液の液性が中性にならず、硫酸酸性となるが、ヒ素の計測法において溶液を硫酸酸性にする必要があるため、この場合、イオン交換樹脂は単にセッコウの溶解のみならず、測定溶液の pH 緩衝剤として作用することで酸の添加を不要にする利点を有している。本法を前処理法として、計測にデジタルパックテストを用いた場合のセッコウ中のヒ素の測定結果を Fig.6 に示す。フッ素と同様、全分析時間 20 分以内で定量性ある結果を確認することができた。

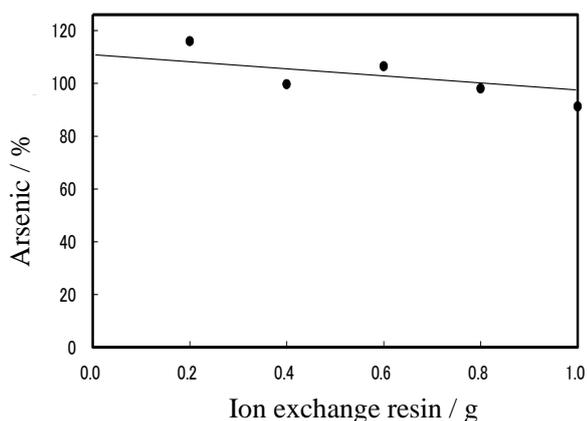


Fig.5 セッコウ中のヒ素の分離挙動

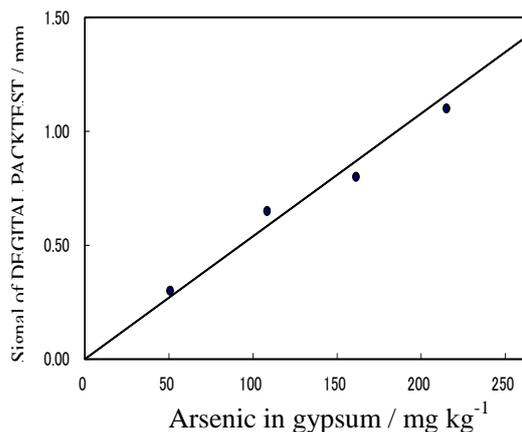


Fig.6 デジタルパックテストによる測定結果

おわりに

イオン交換樹脂によるセッコウの溶解現象がセッコウから不純物である環境汚染物質の有効な簡易前処理法として有用であった。また、市販の簡易計測キットを併用することで、全分析時間 20 分以内で行えるオンサイト分析法を行うことも可能であった。本研究の成果が実際のセッコウのリサイクル現場で活用され、安心・安全なセッコウリサイクルへ貢献できることを期待する。

地域に根ざした建設廃棄物リサイクル企業の倫理的企業成長モデル

富山高等専門学校 専攻科(国際ビジネス学専攻) 准教授 宮重徹也

1. はじめに

地球環境への影響が大きい建設廃棄物リサイクル企業には、当然のごとく、倫理的企業活動が要求される。しなしながら企業である以上、このような倫理的企業活動も収益に貢献しなければその持続的活動が困難となる。そこで本稿では、建設廃棄物リサイクル企業の倫理的企業成長モデルを示していく。

2. 倫理的企業文化の浸透の意義

本節では、倫理的企業活動の実践には倫理的企業文化の浸透が必要不可欠であることを示していく。

マーフィー(1988)は、倫理的企業活動を実践するための手段を、「倫理的企業政策の組織化」と「その実行」に区分している。そのうち、「倫理的企業政策の組織化」としては、企業理念・企業行動基準などフォーマルな組織(構造)を指摘しており、「その実行」としては、経営者の役割などインフォーマルな組織(企業文化)を指摘している。そのため、企業倫理の実践には倫理的企業文化の浸透が必要不可欠なのである。

シャイン(1999)によれば、企業文化とは、集団として獲得された価値観・信念・仮定であり、企業が繁栄を続けるに連れて、それらが共有され、当然視されるようになったものである。中でも企業文化の本質は、学習され共有された暗黙の仮定であり、社員はその暗黙の仮定を基にして、毎日の行動を行っている。企業文化の最も暗黙的で本質的なものは、無意識の当たり前の信念・認識・思考および感情という行動の背後に潜む基本的仮定である。この基本的仮定は、質問調査票などでは評価できず、評価するには実際に現地に行くインタビュー調査などが必要となるものである。

3. 企業倫理による企業成長モデル

本節では、倫理的企業文化の浸透した企業が企業成長を達成する企業成長モデル、換言すれば、企業倫理による企業成長モデルを示していく。宮重徹也(2005)では、製薬企業において、患者を助けようという倫理的企業文化が浸透しているならば、このような製薬企業は患者を助けるための画期的な新薬を研究開発しようとする企業活動を実践することになり、その結果、これまでに存在しなかったような画期的な新薬が研究開発され、新たな市場を創造のうえ企業成長を達成できたことが検証されている。この理論を援用すれば、本稿で取り上げる建設廃棄物リサイクル企業においても、環境への貢献という倫理的企業文化が浸透しているならば、このような建設廃棄物リサイクル企業は環境に貢献する画期的な製品を研究開発しようとする企業活動を実践することになり、その結果、これまでに存在しなかったような画期的な製品が研究開発され、新たな市場を創造のうえ企業成長を達成できるようになるはずである。

4. 建設廃棄物リサイクル企業における事例分析

(1) 北清企業と日本理化学工業の事例

北清企業は札幌市を中心とする廃棄物収集処分企業(一般・産業廃棄物処理企業)であるが、社長(現専務取締役)である大嶋武のリーダーシップのもと、環境への貢献を企業理念とした資源再生企業への転換を目指している企業でもある。同社は事業領域を廃棄物処分という事業内容ではなく、環境への貢献という企業理念に基づいて決定しており、10年後には環境へ貢献する製品を製造するメーカーになっている可能性すらある企業である。同社では環境への貢献という倫理的企業理念を倫理的企業文化として浸透させるた

めに、全従業員にクルドカードを配布のうえ毎日の朝礼で読み上げる活動を2年間に渡って実施している。その他にも、従業員満足を目指した企業活動や、同社の企業方針を知ってもらうための広報活動、更には同社を育ててくれた地域社会への寄付活動などにも積極的に取り組んでいる。

一方の日本理化学工業は障害者雇用に積極的なチョークメーカーとして知られる企業である。北海道の美唄工場においても多くの障害者を雇用しているが、今ある彼らの能力で作業が出来るよう、そのレベルに応じて工程を組み直すことにより非常に高い生産性を達成している。同社は企業の収益に貢献する彼らの優れた能力を活用しつつ企業活動を展開のうえ十分な収益を得て、黒字経営を維持しているのである。

北清企業の大嶋武が環境への貢献という企業理念の達成のために、石膏廃ボードの100%リサイクルを目指して100社を超える企業を訪ね歩く中で、日本理化学工業の美唄工場長である西川一仁と出会い、環境への貢献という理念に共感した両社が石膏廃ボードを利用したラインパウダーである「エコプラスターライン」という製品の研究開発に成功した。この環境に貢献する新製品を日本理化学工業の築き上げた流通経路を通じて販売することによって、両社は収益を得て企業成長を達成することになったのである。

(2) 北清企業とイーエス総合研究所の事例

イーエス総合研究所は「迅速・確実・丁寧」を原則として、土壌汚染の不溶化技術の提供を行う企業であり、この分野で高い技術を持った企業でもある。元々は土木が中心の企業であり、化学は比較的新しい部門である。

前項の北清企業とイーエスは共に札幌市東区に本社を置く企業であり、普段から従業員同士が接することが多い企業であった。土壌の分析を引き受けるイーエスには道内各地から土壌の分析依頼があるが、これらの土壌にはヒ素を含んだものが多かった。これは旭川以南の土地が自然由来のヒ素を含んでいるためである。しかし、自然由来といえども、ヒ素である以上は汚染物質であるため、生態系に悪影響を及ぼすことになる。この状況を見たイーエスの従業員が、この現状をどうにか改善したいという思いから手弁当でヒ素の抑制試験を行っていた。

一方の北清企業にはリサイクルの必要があり、ヒ素抑制効果もある石膏廃ボードが豊富にあった。この両社が環境への貢献のために何とかしようということになり、イーエスの技術と北清企業の未利用石膏廃ボードを合わせて、石膏廃ボードをリサイクルしたヒ素抑制剤が研究開発されたのである。この製品の実用化には3000万円を要したが、販売価格は既存技術と競争できる水準にしておき、現在も製品性能を向上させるために改良を継続している。2010年4月の土壌汚染対策法改正により、自然由来のヒ素も規制対象となったため、北海道内においても10億円の市場が誕生することになり、両社は収益を得て企業成長を達成することになった。

5. おわりに

本稿で示した事例は、環境への貢献という理念に共感する企業が企業ネットワークを形成して新製品を研究開発したものであり、このような企業ネットワークによる新製品の研究開発においては、問題を解決する技術だけではなく、倫理的な理念を共有できることが重要になることが示されたのである。

参考文献

- 1) 宮重徹也「医薬品企業の経営戦略—企業倫理による企業成長と大型合併による企業成長—」慧文社、2005.
- 2) Murphy, P.E., "Implementing Business Ethics," *Journal of Business Ethics*, 7, 1988, pp.907-912.
- 3) Edgar H. Schein, "The Corporate Culture: Survival Guide," Jossey Bass, 1999. (金井寿宏監訳「企業文化—生き残りの指針」白桃書房, 2004.

