
平成31年度(令和元年度)終了課題成果報告会発表資料 2020年3月4日(水)

環境研究総合推進費 革新型研究開発領域【5RF-1701】

水質保全を目指す 革新的濃縮・スマートデバイス融合型 コントロールシステムの開発

○加藤 健¹, 間中 淳²

(茨城県産業技術イノベーションセンター¹, 富山高等専門学校²)

アドバイザー: 茨城大学工学部, 茨城県霞ヶ浦環境科学センター, 中山商事株式会社

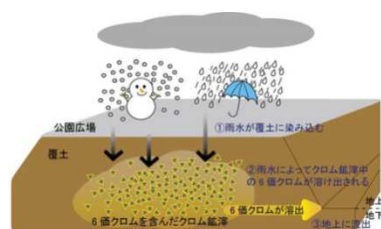
研究実施期間: 平成29年度～平成31年度(令和元年度)

研究経費(累計額): 5,473,000円

重金属汚染は 人体に悪影響を及ぼす

→ 6価クロムは呼吸器系障害や皮膚障害を引き起こす

6価クロムによる水質汚染事例



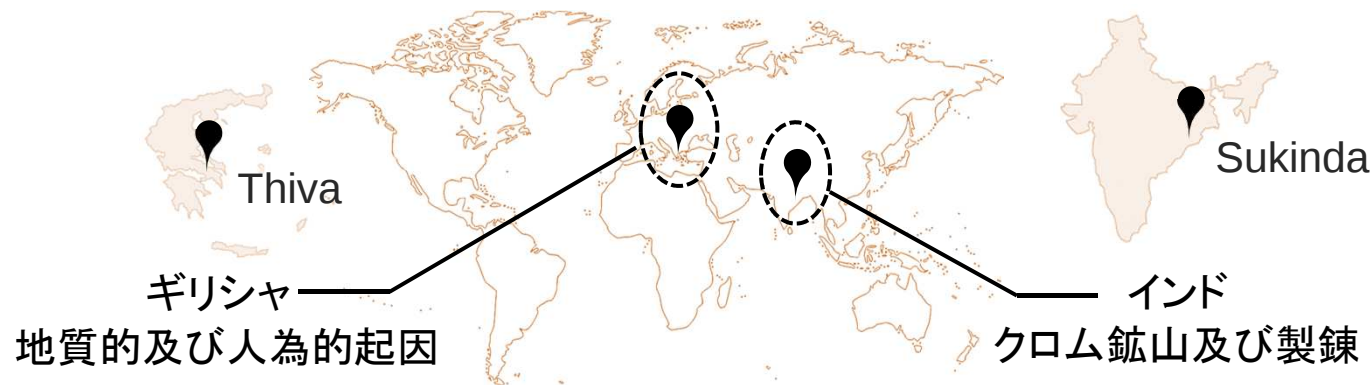
東京大学ホームページ参照



国際環境NGO FoE Japan ホームページ参照

- ・東京都立大島小松川公園からの
6価クロム溶出実態 (2014年)
周辺地下水などに 環境基準以上の Cr^{6+} 検出

- ・フィリピン北スリガオ州のニッケル製錬
事業所周辺の水質汚染 (2013年)
金属採掘により環境基準以上の Cr^{6+} 検出

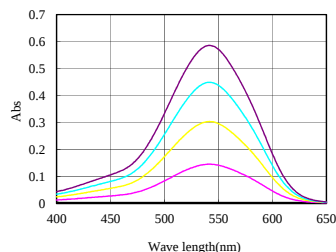


→ 現場における水質保全のためのオンサイト簡易分析技術が求められている

重金属の分析方法

2

機器分析



吸光光度法

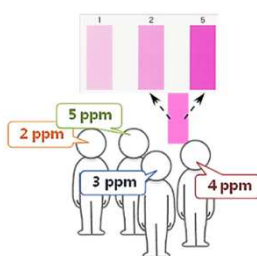
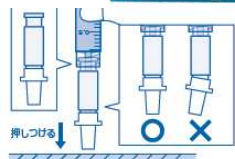
(0.05 mg L⁻¹)

吸光度が微小であるため、水質基準値付近の精査が困難
環境水の現場分析ではバックグラウンドの影響が懸念

イオンクロマトグラフ法

装置が高額であり、測定には煩雑な操作手順を必要とする

簡易分析



比色法(目視判定): 濃度判定が個人の色覚に依存

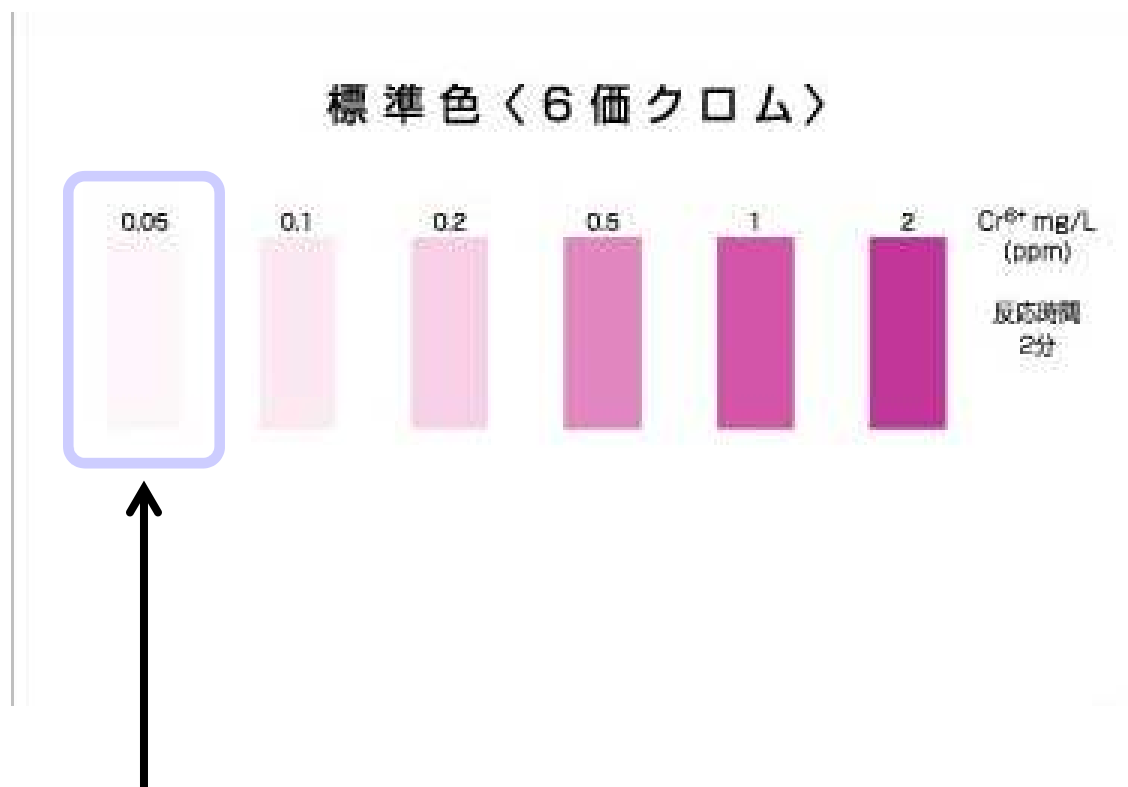
▶ 測定誤差(個人誤差)が発生しやすい

膜捕集型比色法(目視判定) ▶ 操作の煩雑化, 個人誤差が懸念

携帯型比色計(定量分析) ▶ 分析コストが高い, 用途が限られる

パックテストによる色見本^a

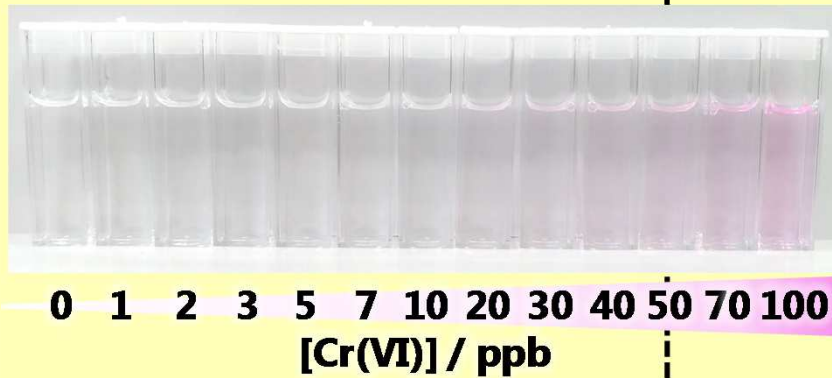
3



日本の水質基準である 0.05 mg L^{-1} 付近は，判別しにくい状態である
測定可能と言われている範囲においても現状課題がある

a) 株式会社共立理化学研究所ホームページ参照，<http://kyoritsu-lab.co.jp/seihin/list/packtest/cr6.html>

目指すべきシステム像

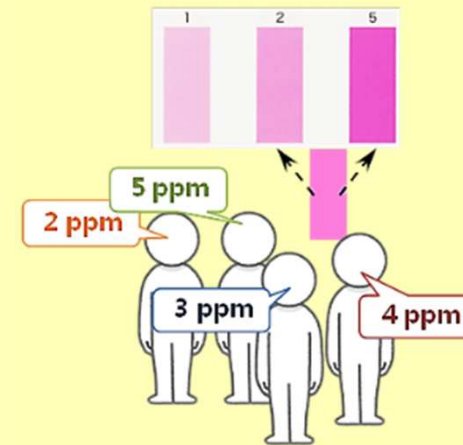


水質基準

低濃度の試料は、
比色分析が困難

濃縮による高感度化が必要！

▶ 均一液液抽出



低濃度の試料は、
個人誤差が懸念

現場向きの定量分析が必要！

▶ スマートデバイス計測

均一液液抽出による高倍率濃縮とシンプルな操作性,

スマートデバイスによるスピーディーな定量性の融合

→ 行政ニーズの閉鎖性水域に係る水質保全にオンサイト簡易分析技術として効果的

研究スケジュール

5

		H29	H30	H31 (R1)
Theme I 均一液液 抽出による 高倍率 濃縮	①6価クロム抽出に向けた最適抽出系選定 <茨城県産技セ>	→ 最適抽出系の探索及び選定		
	②均一液液抽出における各種条件最適化 <茨城県産技セ>		→ 高抽出率を得るための最適化 共存物質に対する影響の検討	
	③システム構築と回収系の選定 <茨城県産技セ>		→ 抽出システム評価および回収技術検討 公共用水域および地下水等への応用	
Theme II スマート デバイス による 簡易計測	①6価クロムに適した計測条件探索 <富山高等専門学校>	→ 簡易計測へ向けた条件探索		
	②析出相に抽出された6価クロムの計測 <富山高等専門学校>		→ スマートデバイスによる計測条件最適化 共存物質に対する影響の検討	
	③現場分析における分析性能評価 <富山高等専門学校>		→ 現場分析に即したブラッシュアップ 公共用水域および地下水等への応用	

→ 国際会議発表(PITTCON等), 論文発表を通じて, 積極的に世界へ情報発信する

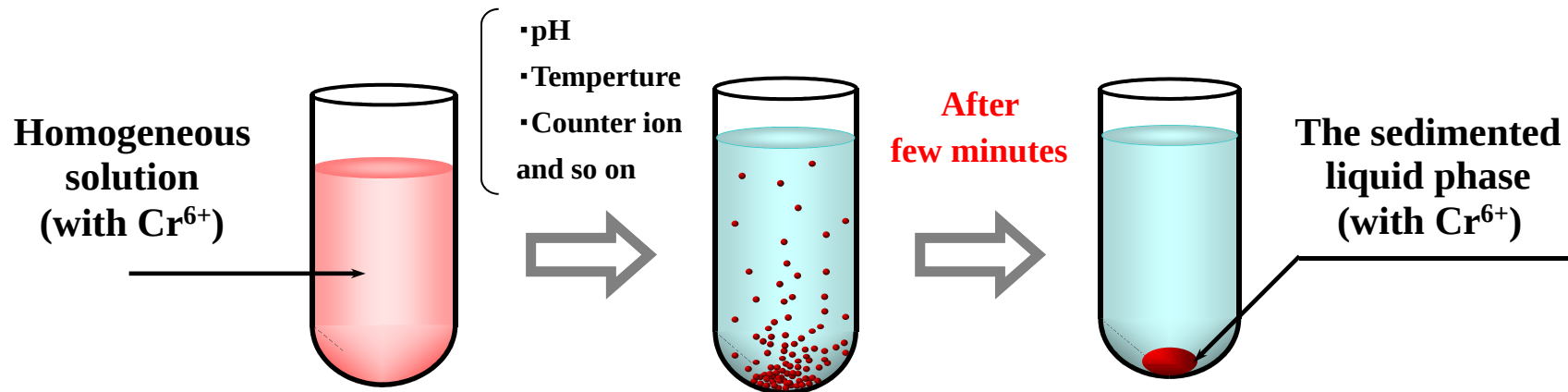
Theme I

均一液液抽出による高倍率濃縮

均一液液抽出(Homogeneous Liquid-Liquid Extraction) 7

試薬を添加するのみの簡便な操作手順

溶液が均一であり, 相分離開始時の界面面積は無限に大きい



三成分系均一液液抽出 (三成分系溶媒の相互溶解度差)

pH依存均一液液抽出 (フッ素系アニオン性化合物とプロトンの結合)

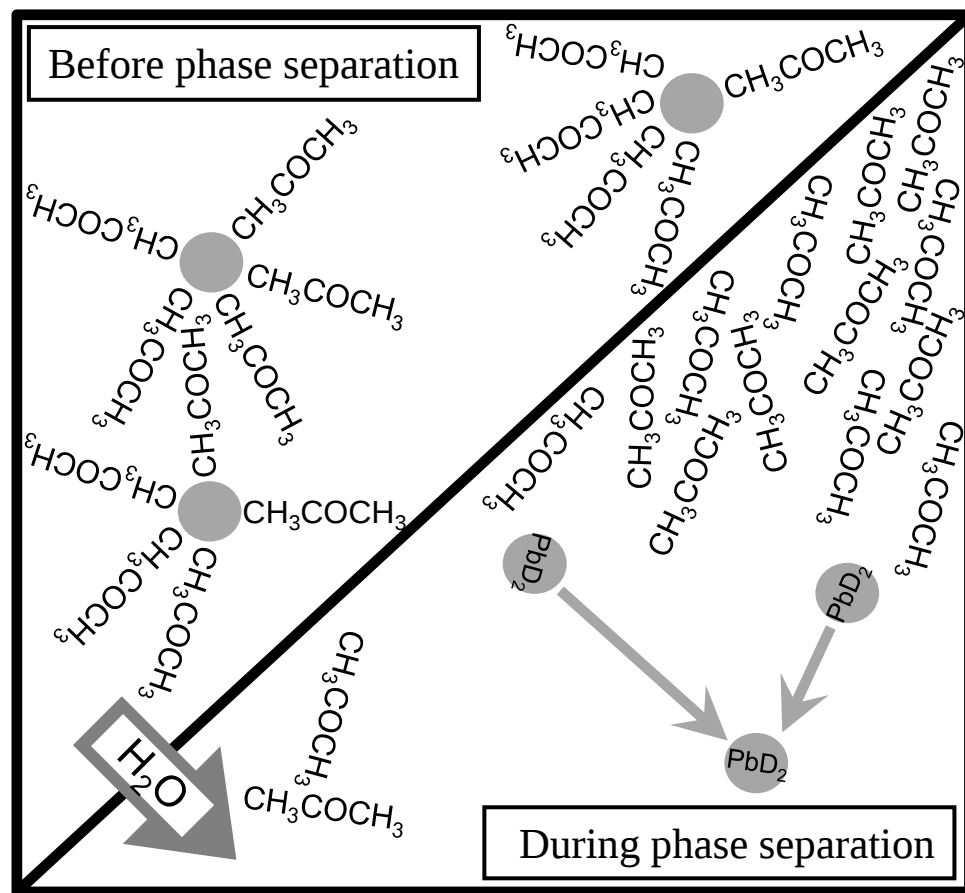
イオン液体均一液液抽出 (フッ素系アニオン性化合物と第四級アンモニウムイオン等)

→ 抽出対象物に応じてカスタマイズした抽出系を選択可能

→ Cr^{6+} に限らず, 環境基準に含まれる重金属類も対応可能

三成分系均一液液抽出の概念図

8



微量のフタル酸ジメチルに
水溶性有機溶媒が溶媒和して
均一であると考えられる

水メインの溶媒との混合で
溶媒和分子として機能せず
相分離がなされる

フタル酸ジメチルの析出相へ
6価クロム錯体等が抽出

図 三成分系均一液液抽出(水/アセトン/フタル酸ジメチル)

濃縮前後の様子

三成分系均一液液抽出 (水/プロパノール/フタル酸ジメチル) ▶ 良好な濃縮

濃縮前

濃縮後



0 1 2 3 5 7 10 20 30 40 50 70 100
[Cr(VI)] / ppb

1 ppb でも僅かながら着色が確認できる

水質基準値

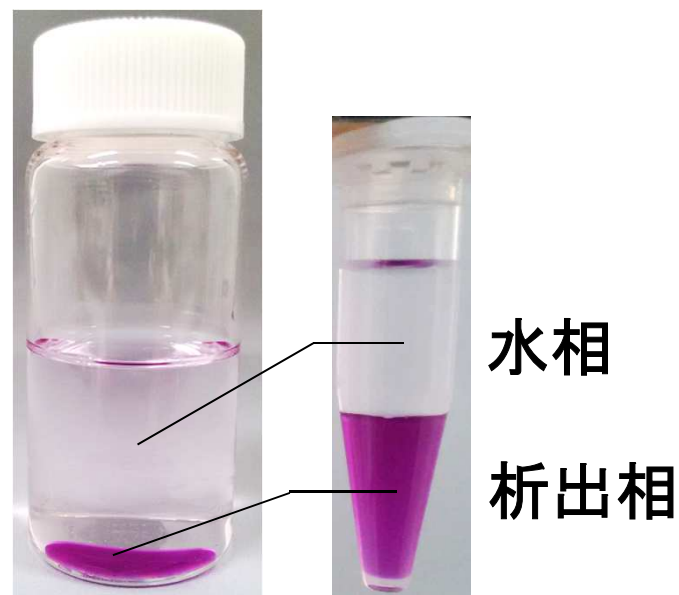
6価クロムの最適抽出条件(まとめ)

10

結果 I

以下の抽出条件において...

2-PrOH : 3.5 mL
DMP : 440 μ L
[SDS] : 1 g L⁻¹
pH : 1.3
[Cr(VI)]=0.1 ppm



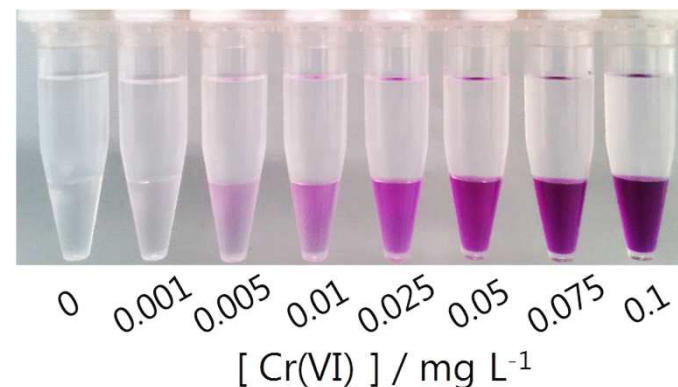
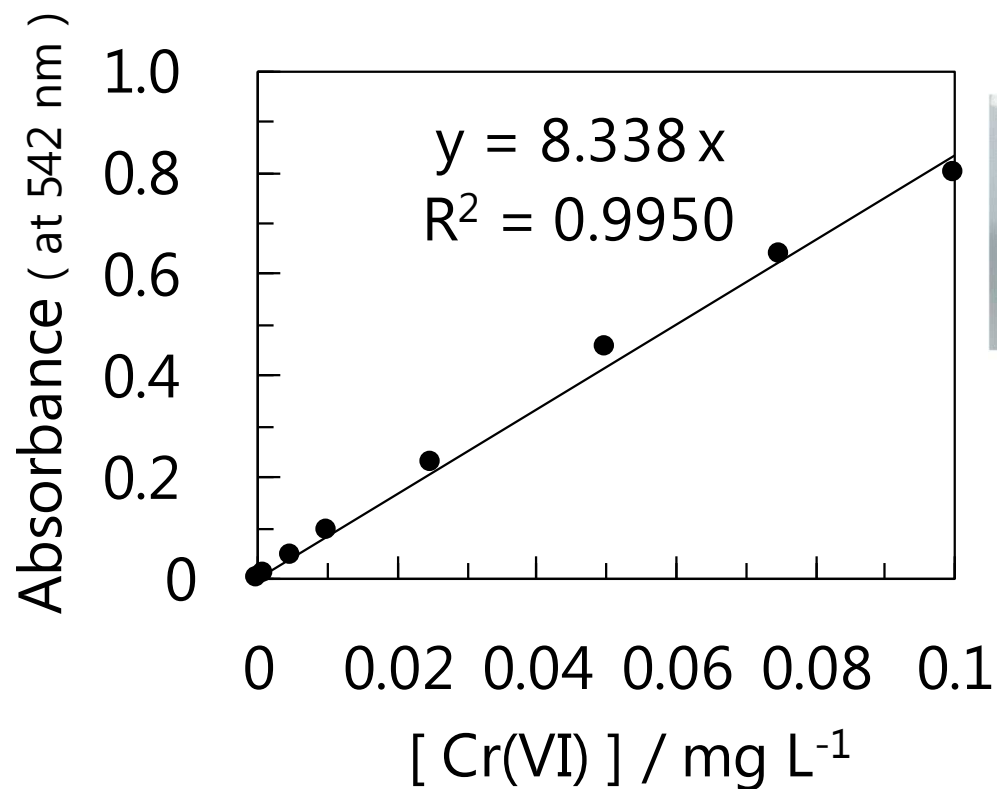
抽出率

88 %

濃縮倍率

121 倍
(27.4 mL → 0.230 mL)

結果 II



定量下限値

0.12 ppb
(0.00012 ppm)

[Cr(VI)] = 0 ppm, 0.001 ppm, 0.005 ppm, 0.01 ppm, 0.025 ppm, 0.05 ppm, 0.075 ppm, 0.1 ppm
[SDS] = 20 g L⁻¹, [H₂SO₄] = 0.5 mol L⁻¹, [DPC] = 0.04 mol L⁻¹, *i*-PrOH : 3.5 mL, DMP : 440 μL
Absorbance of sedimented phase was measured after 6-fold dilution with DMP
Equipment used for measurement : UV-visible Spectrophotometer (V-630, JASCO Co.)

▷▷▷ 日本の水質基準である0.05 mg L⁻¹ に対して**約400倍**の高感度◁◁◁

共存イオンの影響評価(EDTA)

12

結果 III

Foreign substances	Interference [*1]
Na ⁺ , Zn ²⁺ , K ⁺ , B ³⁺ , Ca ²⁺ , Ni ²⁺ , Mg ²⁺ , Pb ²⁺ , Cd ²⁺ , Cl ⁻ , NO ₃ ⁻ , PO ₄ ³⁻ , Cu ²⁺ [*2]	×1000
Sn ²⁺ , Fe ³⁺ [*2], Sn ²⁺ [*2]	×100
Fe ³⁺	×50
Cu ²⁺	×3

*1 [Cr(VI)] = 0.1 ppm, *2 Addition of EDTA (100 ppm)

6価クロム濃度の×100 ~ 1000倍の濃度の
共存物質を許容可能

添加回収試験による実用性評価(環境試料)

13

結果 IV-i

(※ 試料：富山高等専門学校の水道水)

Cr(VI) added / ppm	Cr(VI) found / ppm	%RSD ($n=5$)	Recovery / %
0.02	0.019	1.20	97
0.01	0.010	1.17	100
0.005	0.0052	3.64	103



結果 IV-ii

(※ 試料：地下水, 日本)

Sample	Cr(VI) / ppm			Recovery / %
	Content	Added	Found	
No.1	0.089	0.1	0.187	99
No.2	0.010	0.015	0.024	94
No.3	0.013	0.015	0.028	101



No. 1: Before treatment for Cr(VI) removal, No. 2: After treatment for Cr(VI) removal, No. 3: After neutralization of the treated water.

▶▶▶ 本法は水道水, 地下水に対応可能で, 実用性があると評価できる◀◀◀

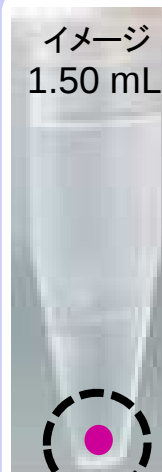
さらなる効率化に向けて

14

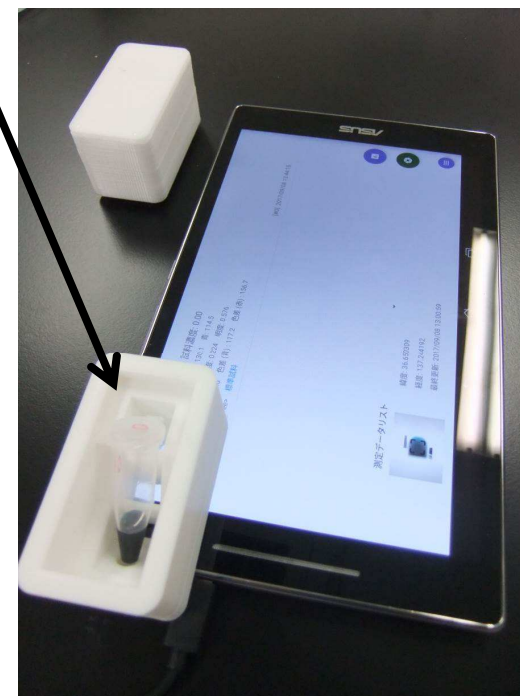


ピックアップ
→ デバイス計測

析出相(0.230 mL)を
採取して計測

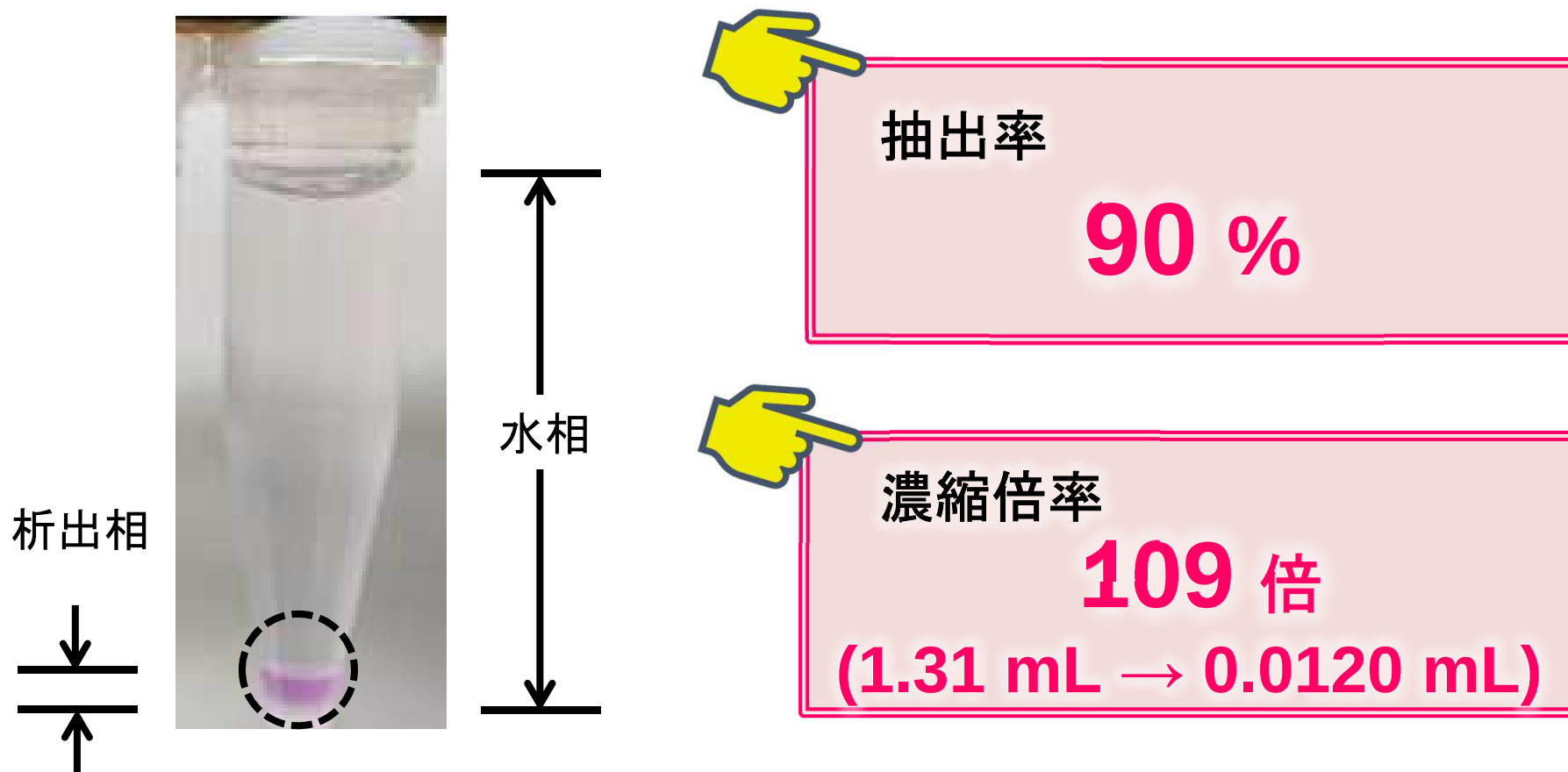


ピックアップ
→ デバイス計測



微小析出相の形成

15

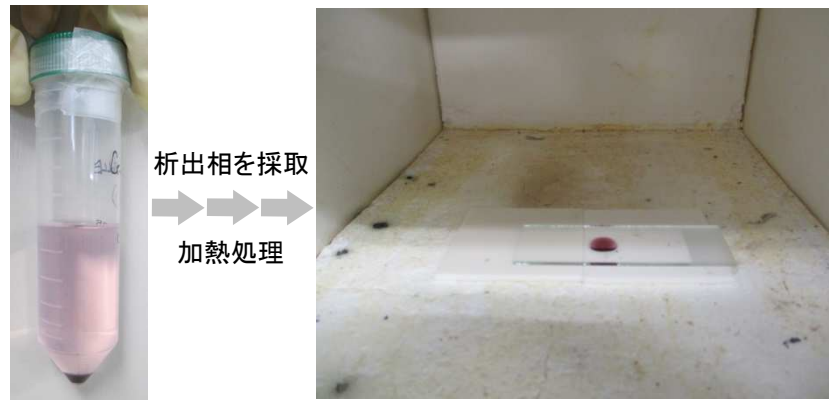


水相	析出相	濃縮倍率	抽出率
27.4 mL	0.230 mL	121 倍	88 %
1.31 mL	0.0120 mL	109 倍	90 %

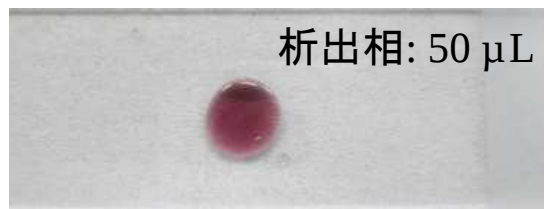
▶▶▶ 良好な抽出率(90 %)で微小析出相(0.0120 mL)形成を確認!◀◀◀

析出相からのクロム回収

16



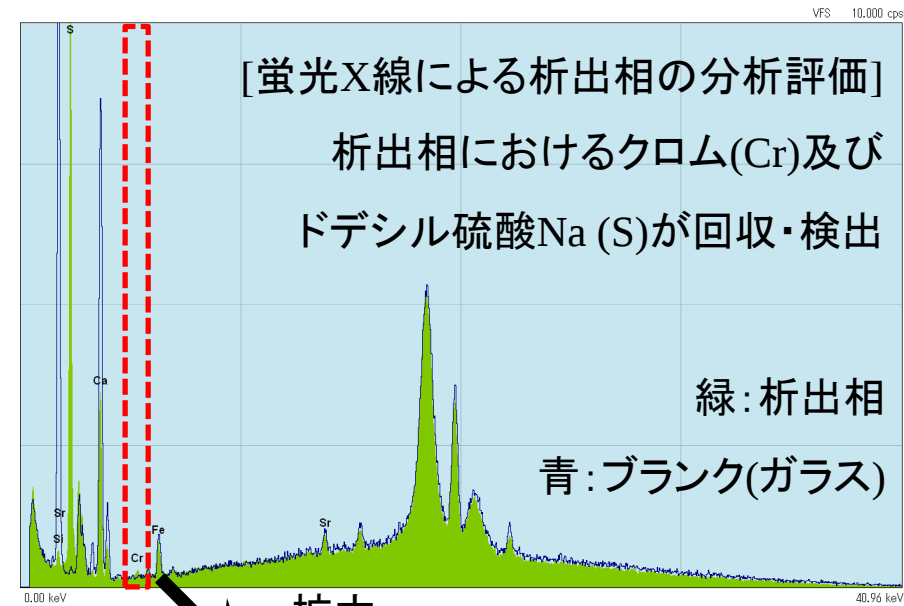
▶▶▶ マイルドな加熱条件での
フタル酸ジメチル等の分解を検討 ◀◀◀



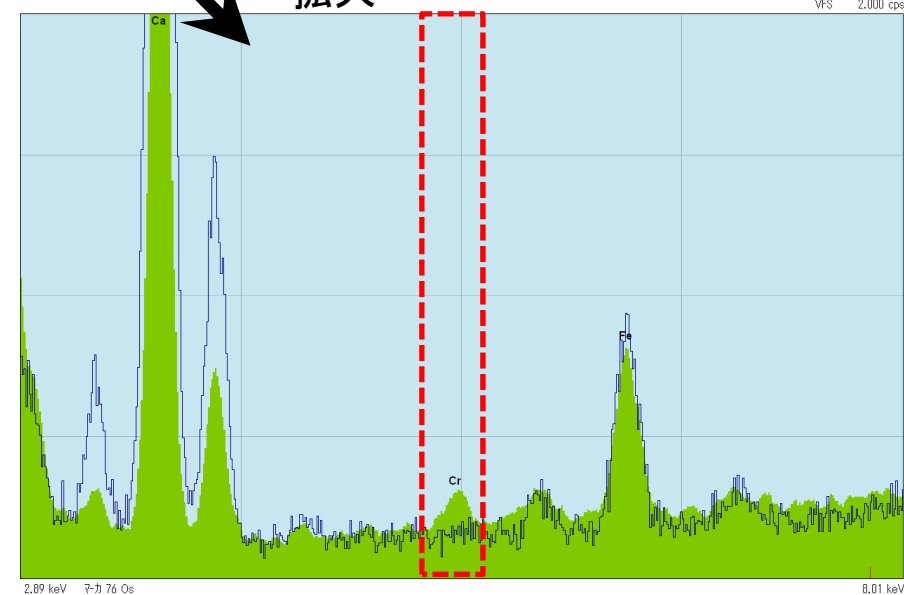
100 °C
↓
加熱



目視でフタル酸ジメチルの分解確認



拡大



Theme II

スマートデバイスによる簡易計測

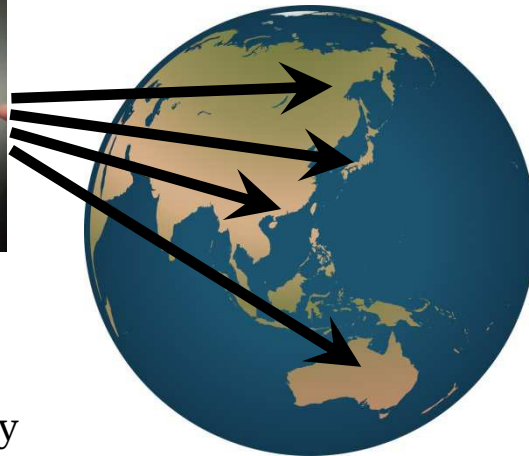
スマートデバイスの注目点

18

Smart device
(smartphone, tablet)



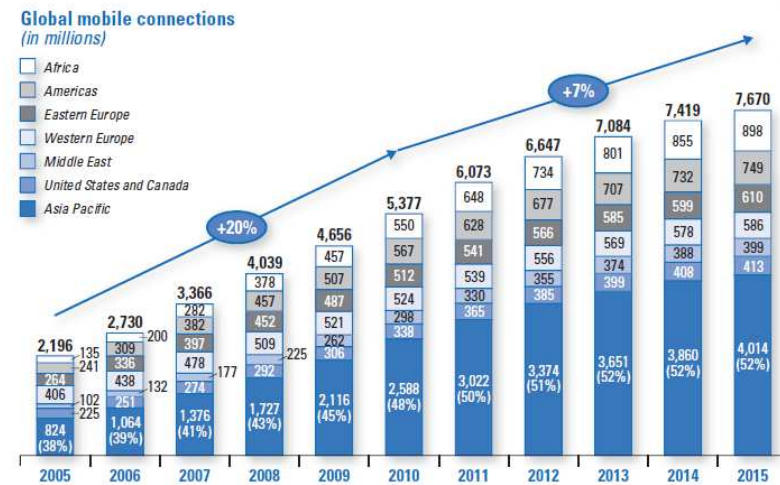
{ Low cost
Multifunction
Extensibility



Worldwide users of
smart device have
been increasing rapidly

http://free-illustrations.gatag.net/tag/%E5%9C%B0%E7%90%83?ssort=__reaction_buttons_5_-pm&sdire=desc

Fig. Smartphone diffusion rate in world countries

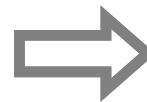


Note: Figures for 2011-2015 are estimates.

Source: Wireless intelligence



Analysis instrument



Smart device
(smartphone, tablet)

People always
have
smart device

特別な分析機器を用いなくても、世界中で普及が広がる

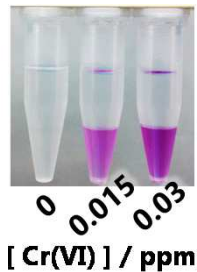
市販電子機器による**定量分析**を目指すことができる！

1. 測定対象に応じた目的の波長(色)のみを検出するシステム
2. 光源および複雑な光路といった付属パーツが不要である
3. GPS機能をはじめとした結果のトレーサビリティを確保可能

スマートデバイス計測への応用

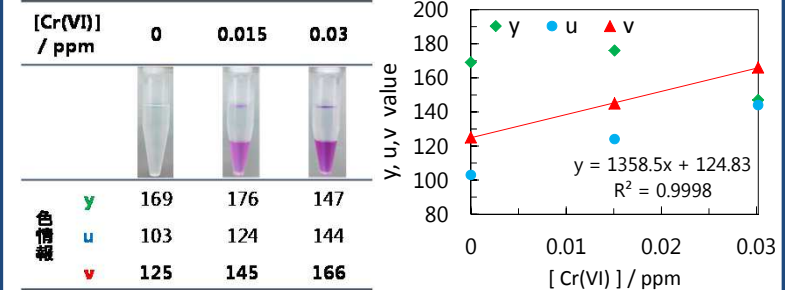
20

Step 1



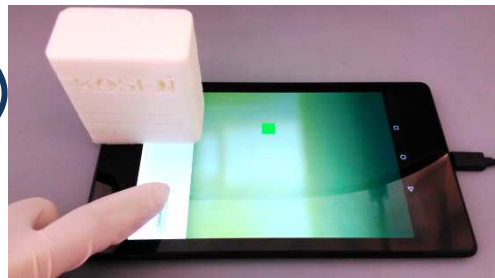
各標準液(3本)を濃縮させ、
マイクロテストチューブをセット

Step 2



析出相の色情報を測定
(アプリが自動で検量線作成)

Step 3



試料を濃縮し、同様に色情報を測定

Step 4



自動的に試料濃度が表示され、
また、マッピングが行われる

スマートデバイス計測の定量下限値と実用性評価 21

定量下限値

2.10 ppb (0.0021 ppm)

▷▷▷ 日本の水質基準である0.05 mg L⁻¹ に対して**約25倍**の高感度◁◁◁

Cr(VI) added / ppm	(上段) UV-vis / (下段) スマートデバイス による測定		
	Cr(VI) found / ppm	%RSD (n=5)	Recovery / %
0.02	0.019	1.20	97
	0.020	2.99	100
0.01	0.010	1.17	100
	0.011	6.18	109
0.002	0.0022	3.20	108
	0.0019	10.9	95



※ 試料：富山高等専門学校の水道水

機器分析の吸光光度分析とスマートデバイス評価は結果が類似

クロメート試料からの6価クロム溶出液の濃縮

22

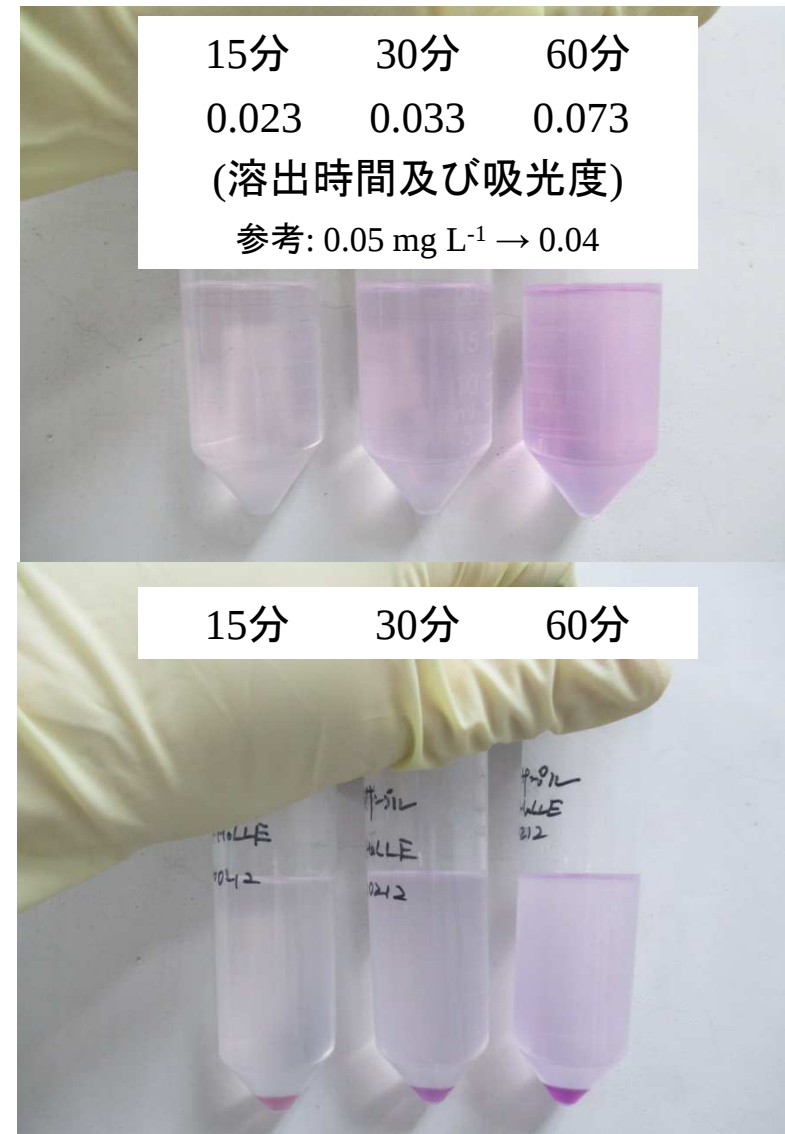


蒸留水加熱による6価クロム溶出

(15分, 30分, 60分(通常))

* 水質基準値付近の6価クロムが溶出される
 0.05 mg L^{-1}

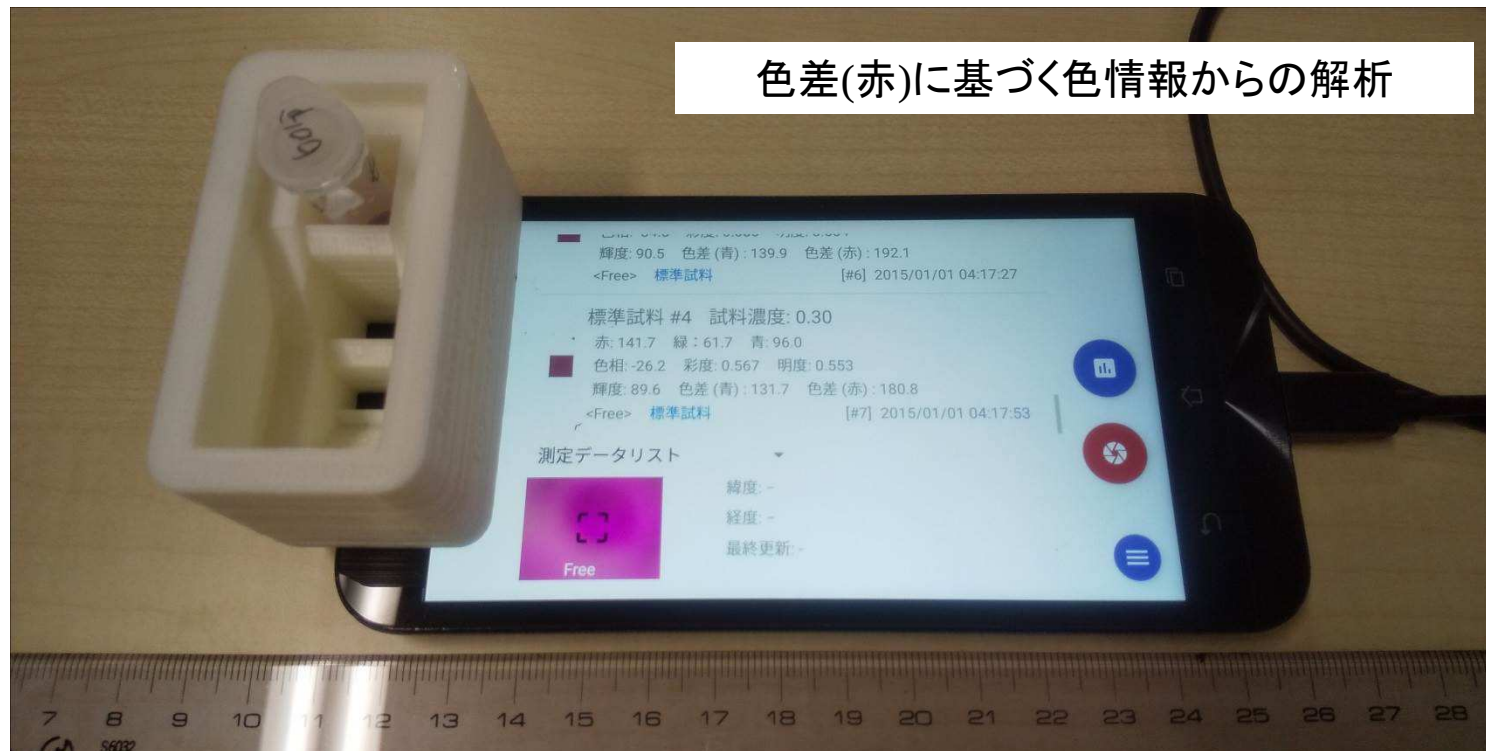
加熱処理



▶▶▶ 均一液液抽出により水質基準値付近の溶液をクリアに評価 ◀◀◀

クロメート溶出液(濃縮後)のスマートフォン計測

23

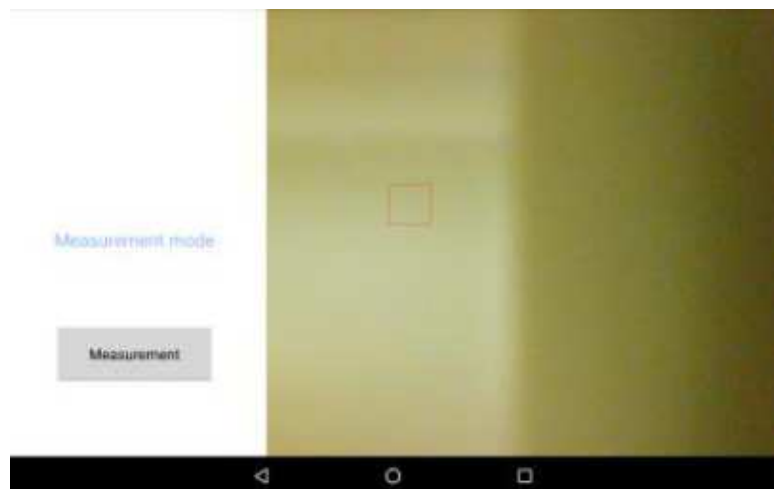


溶出時間	15分	30分	60分
分光光度計による吸光度	0.023	0.033	0.073
スマートフォンによる色差(赤)	162.8	178.1	201.6

▶▶▶ 吸光度に比べて安定した数値で評価が可能となる ◀◀◀

微小析出相に対するスマートデバイス計測

24



通常の測定方法 (傾斜)
微小析出相と測定部が合わない



角セル設置スペース (直立)
測定部で微小析出相を認識

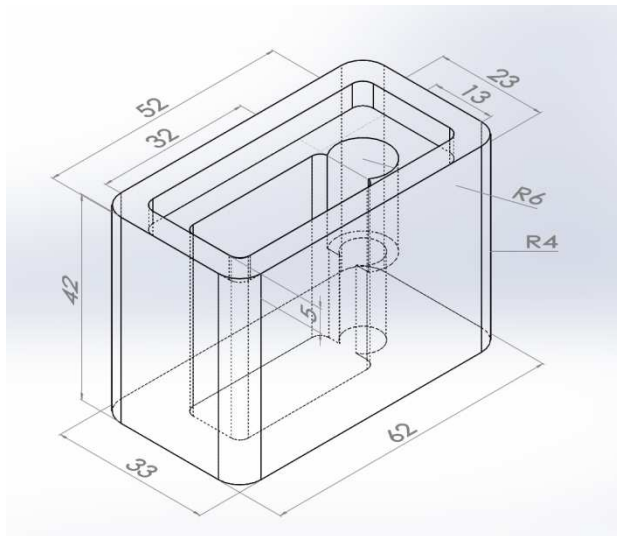
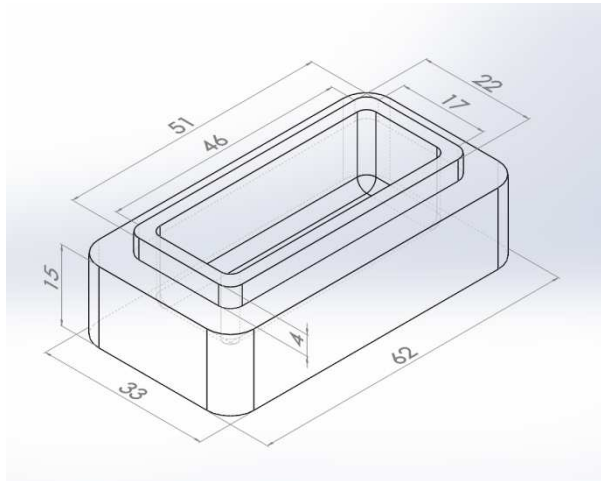
$$[\text{Cr}]_{\text{T}} = 0.0720 \text{ ppm}, \text{Va/Vs} = 1.5/0.010 = 150$$

→ マイクロチューブ内での濃縮でも評価できる可能性が示された！

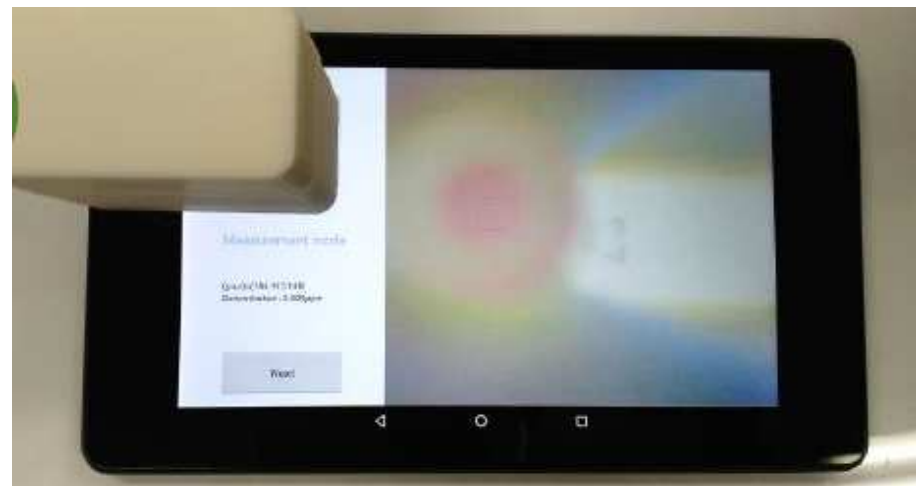
微小析出相のアタッチメント作製及び評価

25

アタッチメント作製



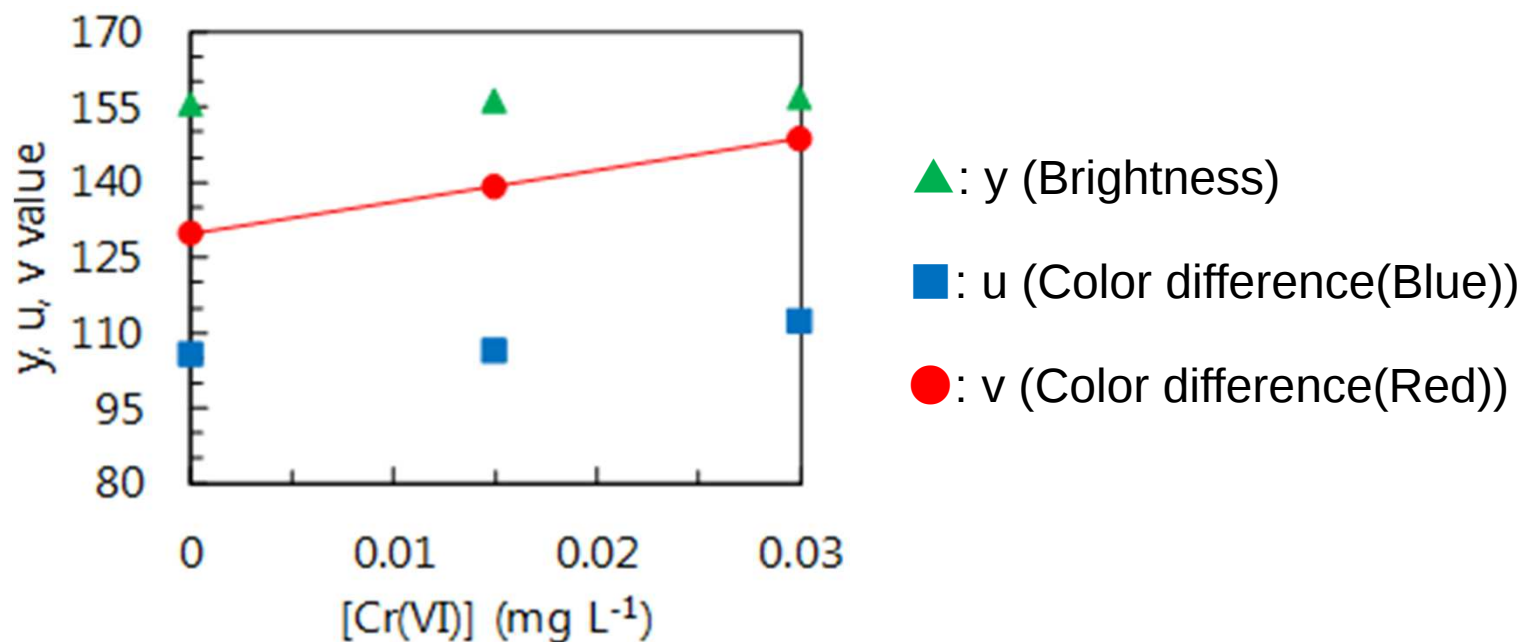
微小析出相の評価



→ これまでと同様のアプリケーションで微小析出相の色情報を取得可能！

微小析出相のスマートデバイスによる定量

26



Sample	Cr(VI) / mg L ⁻¹	
	Absorption spectrophotometry	Proposed method
1	0.010	0.015 ± 0.002
2	0.013	0.017 ± 0.002

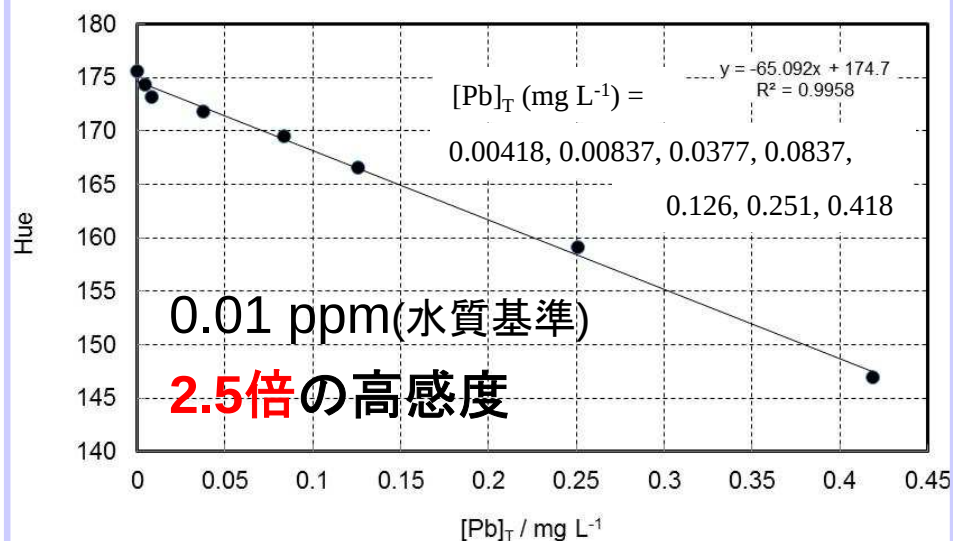
▷▷▷ppbレベルの6価クロムを分光光度計と同等性能で評価可能◁◁◁

(追加)6価クロム以外の重金属への応用展開

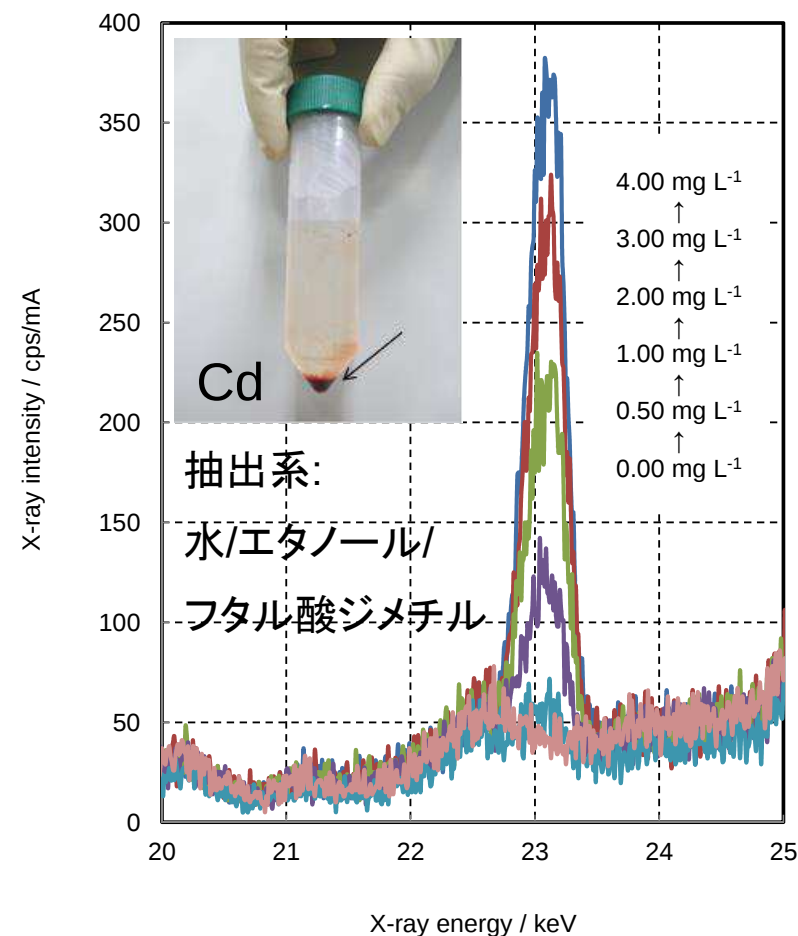
27



抽出系:
水/アセトン/フタル酸ジメチル



Pb: 濃縮およびスマートデバイス計測を確認



Cd: 濃縮を確認

▷▶▷6価クロムだけでなく, PbやCd等の重金属にも展開可能◁◁◁

研究スケジュール(進捗管理)

28

		H29	H30	H31 (R1)
Theme I 均一液液 抽出による 高倍率 濃縮	①6価クロム抽出に向けた最適抽出系選定 <茨城県産技セ>	→ ○最適抽出系の探索及び選定		
	②均一液液抽出における各種条件最適化 <茨城県産技セ>		→ ○高抽出率を得るための最適化 ○共存物質に対する影響の検討	
	③システム構築と回収系の選定 <茨城県産技セ>		→ ○抽出システム評価および回収技術検討 ○公共用水域および地下水等への応用	
Theme II スマート デバイス による 簡易計測	①6価クロムに適した計測条件探索 <富山高等専門学校>	→ ○簡易計測へ向けた条件探索		
	②析出相に抽出された6価クロムの計測 <富山高等専門学校>		→ ○スマートデバイスによる計測条件最適化 ○共存物質に対する影響の検討	
	③現場分析における分析性能評価 <富山高等専門学校>		→ ○現場分析に即したブラッシュアップ ○公共用水域および地下水等への応用	

○: 実施済み, △: 一部実施および未実施

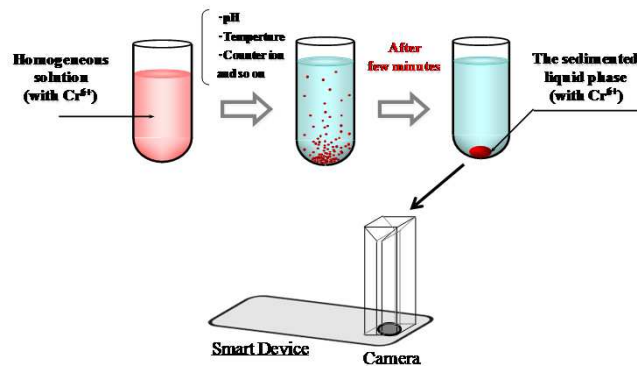
均一液液抽出による高倍率濃縮

- 三成分系均一液液抽出に基づき, Cr^{6+} の良好な濃縮が確認された
- 濃縮倍率は**121倍**という**高濃縮倍率**が得られた (27.4 mL → 0.23 mL)
- 水道水および地下水に対して, 本法は**実用性がある**ことが確認された

スマートデバイスによる簡易計測

- **定量下限値 2.1 ppb** (水質基準値 0.05 mg L^{-1} の約25倍) となり, 良好な結果を得た
- 機器分析の吸光光度分析とスマートデバイス計測は同等の結果となった
- (発展) マイクロチューブ内濃縮による微小析出相からppbレベルの評価
- (追加) 6価クロムだけでなく, **PbやCd等の重金属**にも展開可能

▷▷▷ 重金属のトータルコントロールシステムとして運用を広げていきたい◁◁◁



検出しやすくするための
「濃縮」でクリアに

オンサイト分析のための
「スマートデバイス計測」

適用範囲: Cr^{6+} , 重金属等



湖沼等の閉鎖性水域監視
公共用水域及び地下水監視

企業におけるトレーサビリティ (測定履歴を残しにくい目視計測→迅速計測によるデジタル管理)
環境教育ツールとしての活用 (茨城県産技セ, 富山高専, 茨城県霞セ等による普及広報)

水ビジネス市場は, 36兆円(2007年)
→ 86兆円(2025年) に拡大予測



国際的科学機器展であるPITTCON等の国際会議発表や論文発表を積極的に行い, ...

環境省が示すビジョンである日本の技術力を生かした

地域・世界への貢献に切り込む新規的・効果的アプローチとする

現在までの主だった研究業績

31

海外における国際会議口頭発表2件, ポスター発表4件

- ① Takeshi Kato, Atsushi Manaka, Yuki Yokota, Shukuro Igarashi, Effective and simple on-site control system for heavy metals based on homogeneous liquid-liquid extraction (HoLLE) and smart device, Third international conference of environment, engineering & energy 2017, Toronto, Ontario, Canada, 2017.9.16.
- ① Atsushi Manaka, Yuki Yokota, Yasuyuki Shibata, Takeshi Kato, Development of simple color analyzer using smart device and its application to hexavalent chromium analysis, Third international conference of environment, engineering & energy 2017, Toronto, Ontario, Canada, 2017.9.16.
- ② Takeshi Kato, Yuki Nagashima, Atsushi Manaka, Simple and effective heavy metals analysis system for on-site measurement using homogeneous liquid-liquid extraction (HoLLE) and smart device, PITTCON conference & expo 2019, Philadelphia, USA, 2019.3.17.
- ② Atsushi Manaka, Yuki Yokota, Takeshi Kato, Development of original attachment for smart device color analysis with homogeneous liquid-liquid extraction, PITTCON conference & expo 2019, Philadelphia, USA, 2019.3.17.
- ③ Takeshi Kato, Ryo Ando, Atsushi Manaka, Rapid on-site heavy metals measurement via homogeneous liquid-liquid extraction and portable X-ray fluorescence spectrometry, PITTCON conference & expo 2020, Chicago, USA, 2020.3.1.
- ③ Atsushi Manaka, Masamoto Tafu, Takeshi Kato, Yumemi Ueno, Highly sensitive colorimetric determination for cadmium using phase separation phenomena with water/2-propanol/chloroform, PITTCON conference & expo 2020, Chicago, USA, 2020.3.1.

学会発表ポスター賞受賞1件

- ① 加藤 健, 永島佑樹, 間中 淳, 五十嵐淑郎, 均一液液抽出(HoLLE)およびスマートデバイスを融合した重金属の高効率オンサイト計測システム, 第14回茨城地区分析技術交流会, 2017.12.1.

依頼講演・招待講演4件

- ① 加藤 健, 均一液液抽出・スマートデバイス計測, 第8回分析化学合同セミナー, 2017.9.28. (依頼講演)
- ① 間中 淳, 先端の「色」分析法を目指して～二値化した変色反応とスマートデバイスによる計測法を例に～, 第14回茨城地区分析技術交流会, 2017.12.1. (依頼講演)
- ① 加藤 健, 均一液液抽出(HoLLE)に基づく貴金属等の高効率分離・濃縮技術, 貴金属の回収・リサイクル技術(技術情報センター主催), 2017.12.13. (招待講演)
- ③ 加藤 健, タブレット・スマートフォン等を活用したオンサイト測定システム, 第10回分析化学合同セミナー, 2020.2.14. (依頼講演)



投稿論文掲載2件

- ③ Takeshi Kato, Yuki Nagashima, Atsushi Manaka, Chihiro Nakamura, Shigekatu Oshite, Shukuro Igarashi, Rapid determination of sub-ppm heavy metals in the solution state via portable X-ray fluorescence spectrometry based on homogeneous liquid-liquid extraction (HoLLE) in a ternary component system, *Analytical Sciences*, vol.35, No.8, 2019 (in press).
- ③ Atsushi Manaka, Yuki Yokota, Takeshi Kato, Yoshiyuki Shibata, Masamoto Tafu, Development of high sensitive smart device analysis with homogeneous liquid-liquid extraction, *BUNSEKI KAGAKU*, vol.68, No.6, pp. 411-415, 2019. (in Japanese)

ANALYTICAL SCIENCES AUGUST 2019, VOL. 35

2019 © The Japan Society for Analytical Chemistry

1

Notes

Rapid Determination of Sub-ppm Heavy Metals in the Solution State via Portable X-ray Fluorescence Spectrometry Based on Homogeneous Liquid-Liquid Extraction (HoLLE) in a Ternary Component System

Takeshi KATO,^{*1,*2†} Yuki NAGASHIMA,^{*1} Atsushi MANAKA,^{*3} Chihiro NAKAMURA,^{*4} Shigekatu OSHITE,^{*5} and Shukuro IGARASHI^{*6}

^{*1} Industrial Technology Innovation Center of Ibaraki Prefecture, 3781-1 Nagaoka, Ibaraki-machi, Ibaraki 311-3195, Japan

^{*2} Science and Technology Promotion Division, Ibaraki Prefectural Government, 978-6 Kasahara, Mito, Ibaraki 310-8555, Japan

^{*3} Department of Applied Chemistry and Chemical Engineering, National Institute of Technology, Toyama College, 13 Hongo, Toyama 939-8630, Japan

^{*4} HORIBA Techno Service Co., Ltd., 2-6 KandaAwaji-cho, Chiyoda, Tokyo 101-0063, Japan

^{*5} Department of Applied Chemistry and Biochemistry, National Institute of Technology, Fukushima College, 30 Nagao, Kamiarakawa, Taira, Iwaki, Fukushima 970-8034, Japan

^{*6} Department of Biomolecular Functional Engineering, Faculty of Engineering, Ibaraki University, 4-12-1 Nakanarusawa, Hitachi, Ibaraki 316-8511, Japan

The rapid determination of sub-ppm heavy metals in the solution state was examined via portable X-ray fluorescence spectrometry (XRF) based on homogeneous liquid-liquid extraction (HoLLE) in the water-ethanol-dimethyl phthalate ternary component system. The percentage of cadmium extracted into the sedimented liquid phase was 91.3%. After phase separation, the volume ratio (V_a/V_s) of the aqueous phase (V_a) and the sedimented liquid phase (V_s) was 121 (29.0 $\rightarrow$ 0.240 mL). Based on an analysis of the sedimented liquid phase in the solution state via the portable XRF, the presence of cadmium was determined over a concentration range of 0.100 - 4.00 mg L⁻¹.

Keywords Portable X-ray fluorescence spectrometry, homogeneous liquid-liquid extraction, HoLLE, heavy metals

ノート 関中、横田、加藤、栗田、袋布：均一液抽出を用いる高感度スマートデバイス分析法の開発と性能評価 415

Development of High Sensitive Smart Device Analysis with Homogeneous Liquid-Liquid Extraction

Atsushi MANAKA^{*1}, Yuki YOKOTA^{*2}, Takeshi KATO^{*3}, Yoshiyuki SHIBATA^{*4} and Masamoto TAFU^{*1}

^{*} E-mail : manaka@nc-toyama.ac.jp

[†] Department of Applied Chemistry and Chemical Engineering, National Institute of Technology, Toyama College, 13, Hongo-machi, Toyama-shi, Toyama 939-8630

[‡] Advanced Course, National Institute of Technology, Toyama College, 13, Hongo-machi, Toyama-shi, Toyama 939-8630

[§] Industrial Technology Innovation Center of Ibaraki Prefecture, 3781-1, Nagaoka, Ibaraki-cho, Higashiibaraki-gun, Ibaraki 311-3195

^{||} Technical office, National Institute of Technology, Toyama College, 13, Hongo-machi, Toyama-shi, Toyama 939-8630

(Received December 8, 2018; Accepted February 21, 2019)

A smart device such as a smartphone on a tablet, is widely used worldwide, because of many functions with low cost. We reported on a smart device color analyzer consisting of original attachment and application software. This method is able to strongly reduce the analytical cost and size. Moreover, the analytical result was displayed to a map using GPS and a mapping function of smart device. However, the low sensitivity of this technique makes it difficult to determine low concentrations. On the other hand, homogeneous liquid-liquid extraction is an effective preconcentration method with a rapid and high concentration ratio because the analyte can be concentrated from a milliliter-scale sample to a microliter-scale extraction phase at a high concentration rate in a short period of time. Using this preconcentration, the sensitivity of colorimetry can be improved. Based on these findings, in this study, we developed an optional attachment for the smart device color analysis of a sedimented phase from homogeneous liquid-liquid extraction. The analytical performance of proposed method was evaluated. Using the extraction of the hexavalent chromium complex with diphenylcarbazide by a water/2-propanol/dimethyl phthalate system, the ppb level of hexavalent chromium could be determined. By comparing with conventional absorption spectrophotometry, the proposed method has satisfied analytical performance as a simple analysis.

Keywords: homogeneous liquid-liquid extraction; original attachment; smart device.

「国民との科学・技術対話」の実施

33

6件

- ①富山高等専門学校 物質化学工学科4年次 無機化学特別授業 (2017年5月, 聴講者約40名)
加藤 健, 「分析・評価事例と均一液液抽出に基づく研究事例」
- ①平成29年度ビジネスプラン発表会 主催: いばらき成長産業振興協議会
(2017年8月, つくば研究支援センター, 聴講者約20名)
加藤 健, 「高効率・高倍率濃縮を可能とする均一液液抽出技術のリサイクル・環境保全への応用」
- ①企業訪問型オーダーメイド研修 (茨城プレイティング工業株式会社, 2018年2月, 聴講者約10名)
加藤 健, 「高効率・高倍率濃縮とスマートデバイスを融合した重金属の現場計測技術」
- ①福島工業高等専門学校 化学・バイオ工学科4年次 ゼミナール (2018年3月, 聴講者約10名)
加藤 健, 「蛍光X線分析, X線光電子分光分析を中心とする分析・評価事例と研究事例」
- ③富山高等専門学校 物質化学工学科4年次 無機化学特別授業 (2019年7月, 聴講者約40名)
加藤 健, 「錯体化学と重金属の現場目視計測に向けた取り組み」
- ③富山高等専門学校 物質化学工学科3年次 分析化学特別授業 (2019年7月, 聴講者約40名)
加藤 健, 「比色分析と重金属の現場におけるスマートデバイス計測への応用」



企業訪問型オーダーメイド研修
茨城プレイティング工業株式会社, 2018年2月



福島工業高等専門学校
化学・バイオ工学科4年次 ゼミナール, 2018年3月



富山高等専門学校
物質化学工学科4年次 無機化学, 2019年7月



富山高等専門学校
物質化学工学科3年次 分析化学, 2019年7月