



平成27年度第1回金属資源セミナー

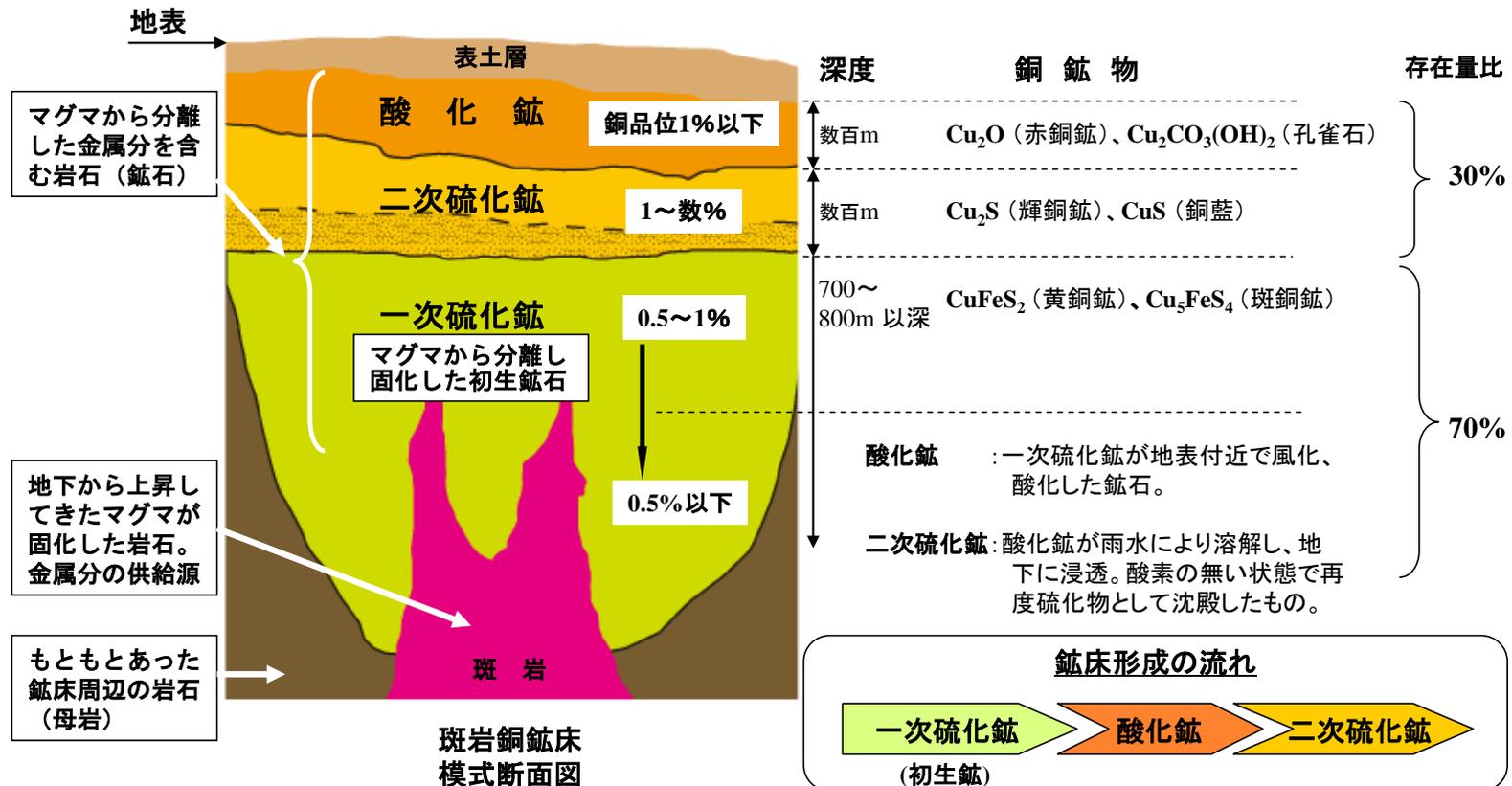
# バイオリーチング事業の進捗について

金属資源技術部生産技術課  
神谷 太郎

独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構

## (1) 銅の湿式製錬技術とバイオ・リーチングの現状

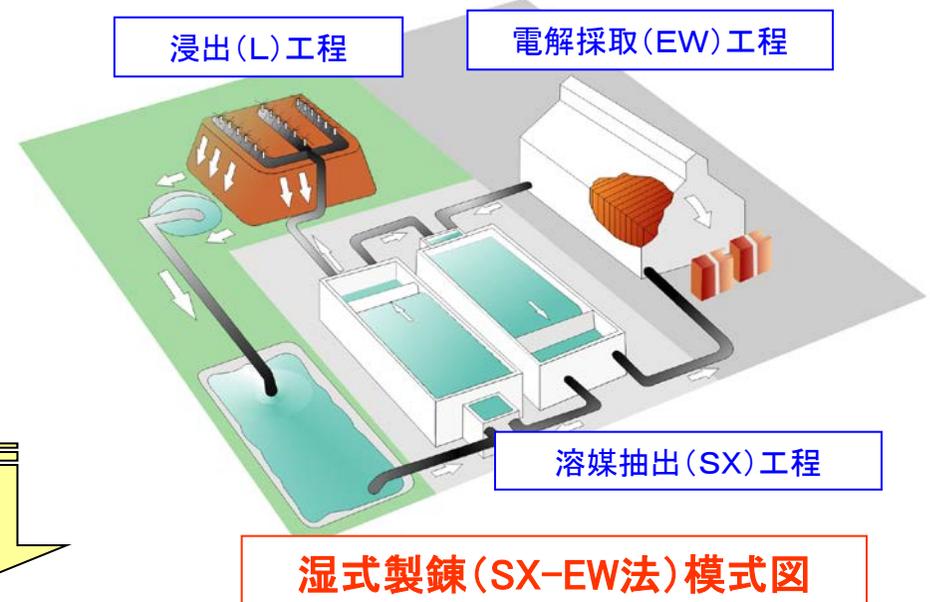
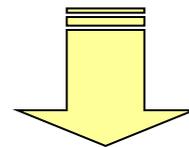
- 世界の銅資源の約65%を占める斑岩銅鉱床は、通常、地表部から深部に向かい、酸化鉱物帯、二次硫化鉱物帯（二次富化帯）、一次硫化鉱物帯で構成される。



・初期投資、操業コスト低減、さらにはコスト競争力、環境問題等の観点から、これまで低品位のためズリであった酸化亜鉛が湿式製錬(SX-EW法)の技術開発の結果、亜鉛石となる(通常、乾式製錬で処理される硫化亜鉛に対してもその適用拡大に向けた研究が世界で展開中)

・硫化亜鉛を湿式製錬で処理する場合の問題点は、その浸出速度が遅く経済的に銅を回収できないこと。このため、バイオ等を活用した浸出速度向上に関する研究が盛んに実施される。

・二次硫化亜鉛の湿式製錬は確立され、実操業化しているが、一次硫化亜鉛は実操業化の事例がない。



低品位一次硫化銅亜鉛を対象としたバイオリーチング研究の実施

## (2) 目的

我が国民間企業の海外鉱山開発を支援する

⇒低品位銅鉱床を経済的に開発可能とする湿式製錬技術開発を実施

## (3) 事業期間・実施場所

・事業期間:

第1期平成17～19年度(3年間)

第2期平成20～24年度(5年間)

第3期平成25年度～

・実施場所: 金属資源技術研究所  
(秋田県鹿角郡小坂町)

基礎的な研究項目の一部については、大学等の研究機関と共同研究を実施することにより、部分的に連携。



## (4)スケジュール(第2期～第3期)

年度	H20	H21	H22	H23	H24	H25	H26	H27	
1. カラム試験									
①二次硫化鉱	→								
②一次硫化鉱	→							-----→	-----→
2. バクテリアの検索・培養・能力評価									
①国内鉱山及び温泉地からの検索	→								
②実証試験対象鉱山からの検索			→						
3. 実証試験での検討									
①ミニプラント試験			→						
②現地実証試験				→					-----→

→ 実施済み

-----→ 予定

## (1) フラスコ試験 (数g程度)

化学的基礎試験・バクテリアの性能試験

(1)



## (2) カラム試験 (鉱石量: 5~15kg)

基礎的条件の検討

粒度、温度、アグロメレーション、硫酸濃度、  
散布量、バクテリア接種効果の確認など。

(2)



## (3) ミニプラント試験 (約4t)

パイロットプラント試験条件の検討及び課題抽出  
パイロットプラント運転方法の確認

(3)



## (4) 現地実証試験 (約200t × 4条件)

集大成の大規模試験

(4)



対象鉱山: アタカマ鉱山(チリ共和国)、鉱床タイプ: IOCG鉱床

銅品位: 1%前後

鉱石の特徴: 脈石として磁鉄鉱等の酸化鉄鉱物が非常に多く、斑岩銅鉱床の銅鉱石とは脈石の構成が非常に異なる。

## <化学分析値>

	Cu (%)	Fe (%)	S (%)	Si (%)	Al (%)	Mg (%)	Ca (%)	K (%)
アタカマ鉱山粗鉱(チリ)	<b>0.734</b>	<b>18.5</b>	<b>1.81</b>	<b>23.6</b>	<b>5.14</b>	<b>1.31</b>	<b>1.68</b>	<b>2.86</b>
斑岩銅鉱床粗鉱①	0.63	3.14	0.97	31.6	7.37	1.33	0.50	2.74
斑岩銅鉱床粗鉱②	0.39	4.72	1.45	28.8	8.06	1.37	2.46	2.20

## <鉱物組成>

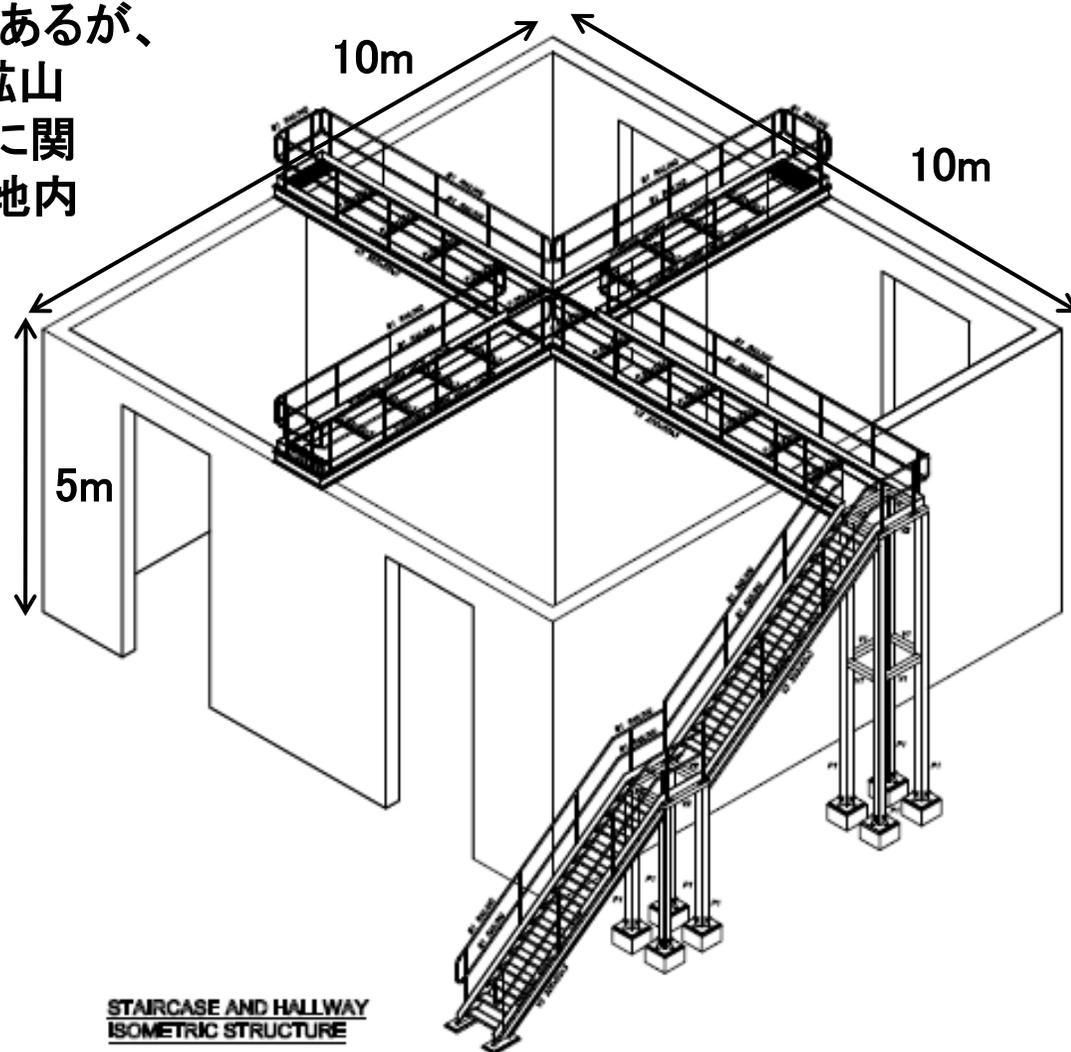
和名	黄銅鉱	斑銅鉱	輝銅鉱	黄鉄鉱	磁鉄鉱	赤鉄鉱	脈石
英名	Chalcopyrite	Bornite	Chalcocite	Pyrite	Magnetite	Hematite	Gangue
化学式	$CuFeS_2$	$Cu_5FeS_4$	$Cu_2S$	$FeS_2$	$Fe_3O_4$	$Fe_2O_3$	-
アタカマ鉱山粗鉱(チリ)	<b>1.29</b>	<b>0.00</b>	<b>0.04</b>	<b>2.49</b>	<b>12.88</b>	<b>0.18</b>	<b>83.12</b>
斑岩銅鉱床粗鉱①	0.94	0.00	0.02	1.50	0.10	1.00	95.8
斑岩銅鉱床粗鉱②	0.52	0.00	0.00	1.20	1.16	0.74	96.4

※アタカマ鉱山粗鉱はアタカマ・コーザン鉱山特約会社より平成22年度に提供された銅鉱石

## ①試験装置本体(Gavion)の模式図

本試験はJOGMEC単独の研究事業であるが、日鉄鉱業株式会社とアタカマ・コーザン鉱山特約会社から鉱石や場所などの提供等に関する協力関係を築き、アタカマ鉱山の敷地内で実施。

実施場所:アタカマ鉱山(チリ共和国)  
主要銅鉱物:黄銅鉱(品位1%程度)  
鉱床タイプ:IOCG鉱床銅粗鉱



STAIRCASE AND HALLWAY  
ISOMETRIC STRUCTURE

## ②実証試験フロー

＜基本となる条件＞

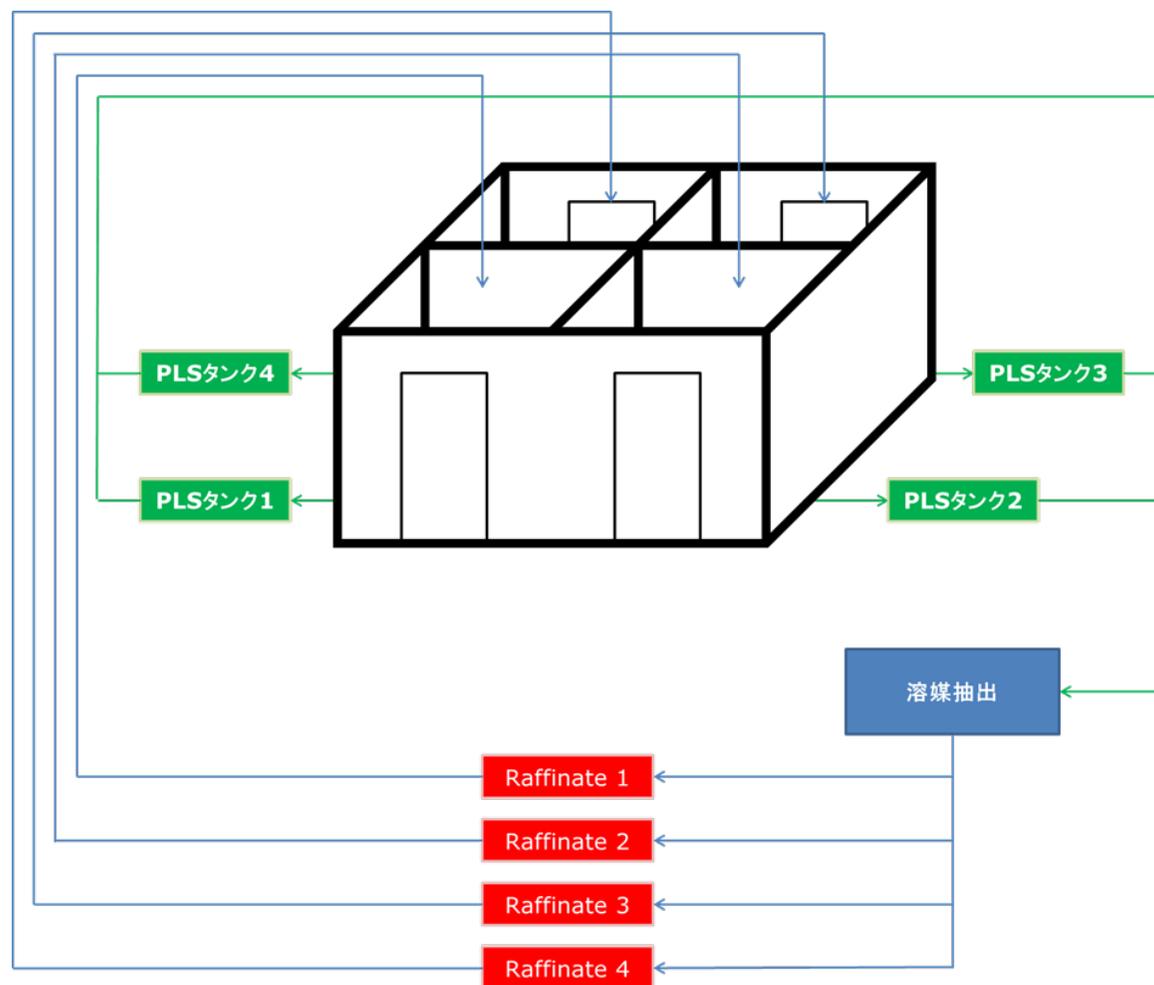
Gavionの寸法: 10m × 10m × 5m  
(Gavion内部を4分割し、1槽は5m × 5m × 5m)

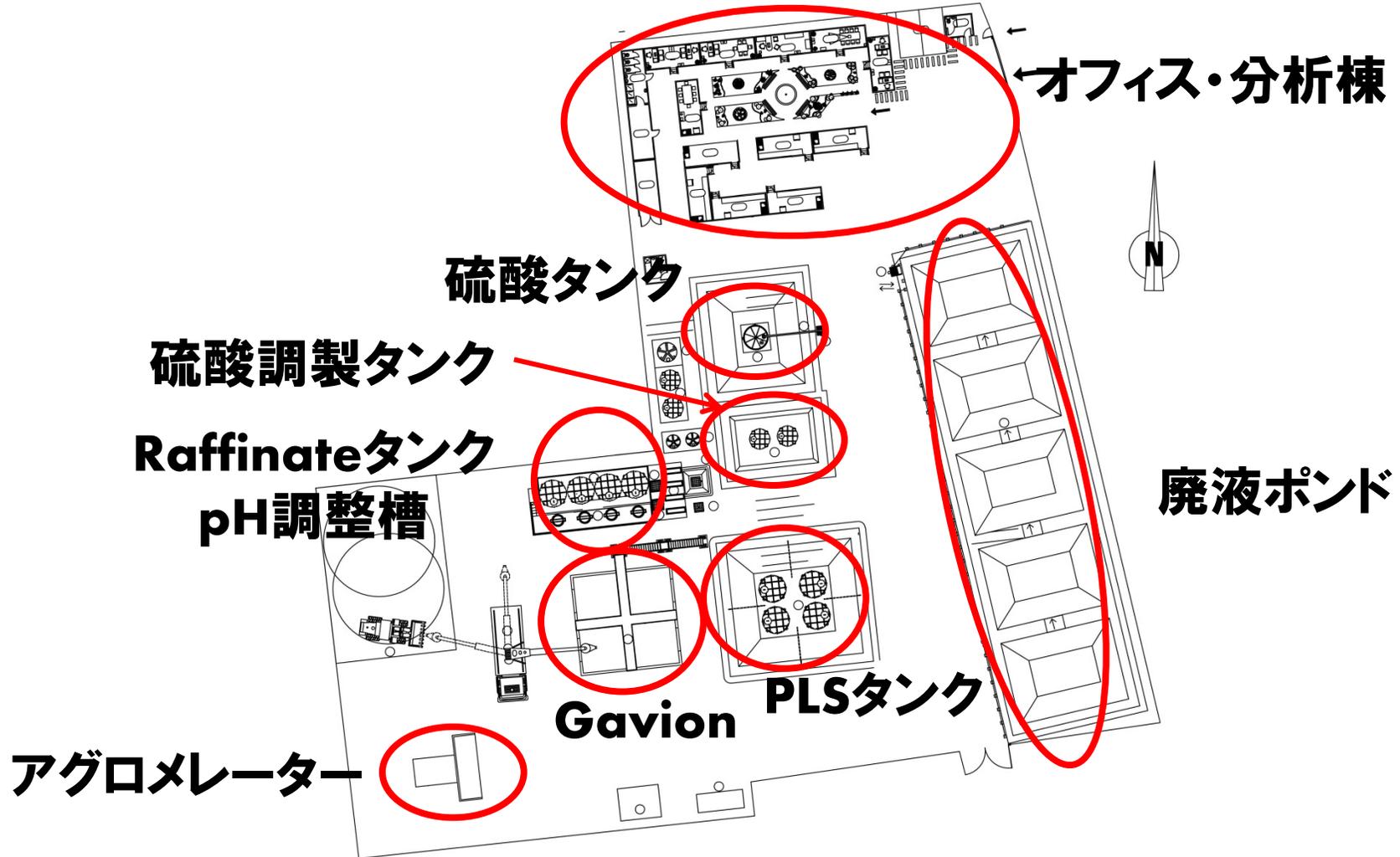
鉱石量: 約200 t × 4 条件

散布方法: ドリッパーによる散布

その他;

- ・槽内から浸出液を採取し、金属イオン濃度等进行分析
- ・槽内部の温度測定



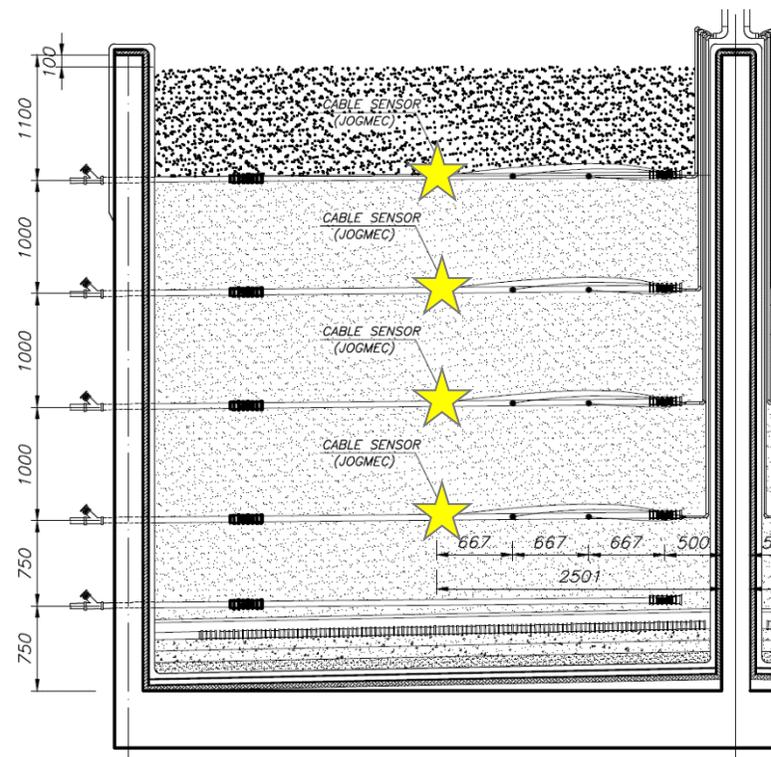
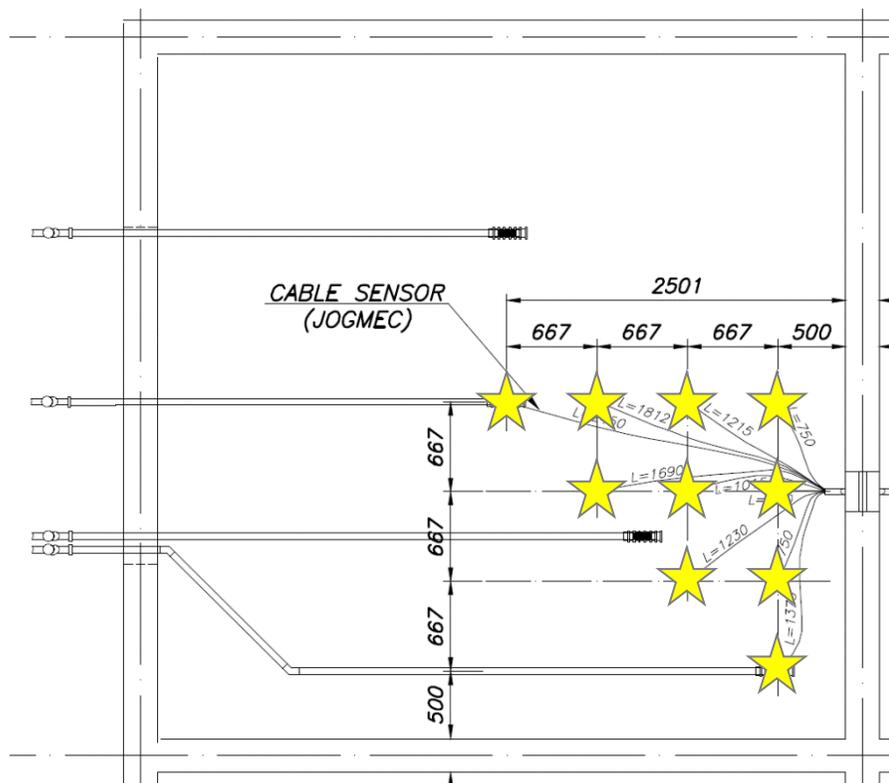




コンクリート壁と遮水シート  
の間に断熱材を配置



★熱電対

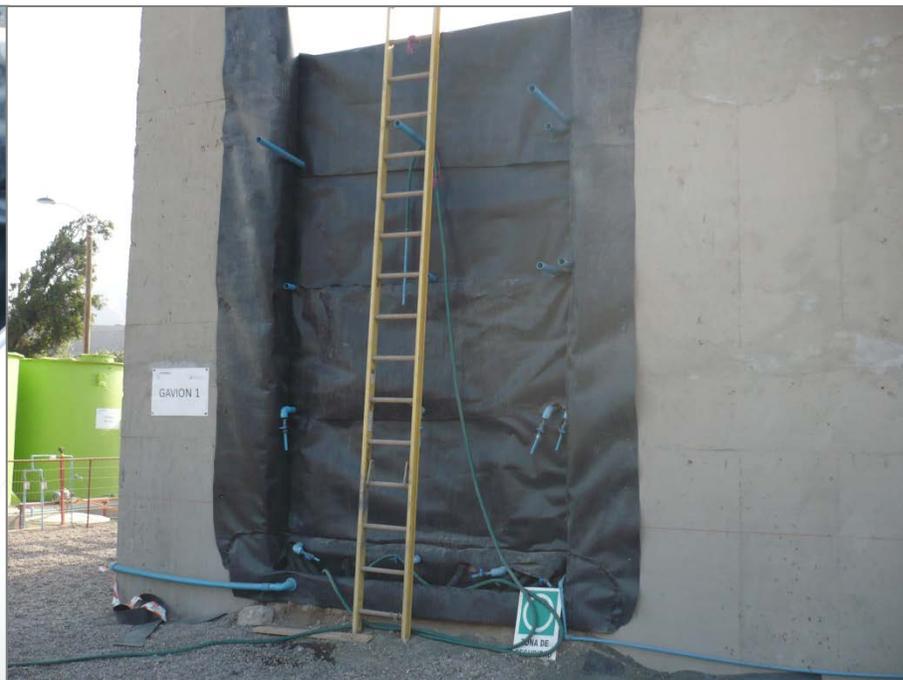


浸出液のサンプリング: 4箇所／レベル × 5レベル = 20箇所

温度測定: 10箇所／レベル × 4レベル = 40箇所



Gavion内部



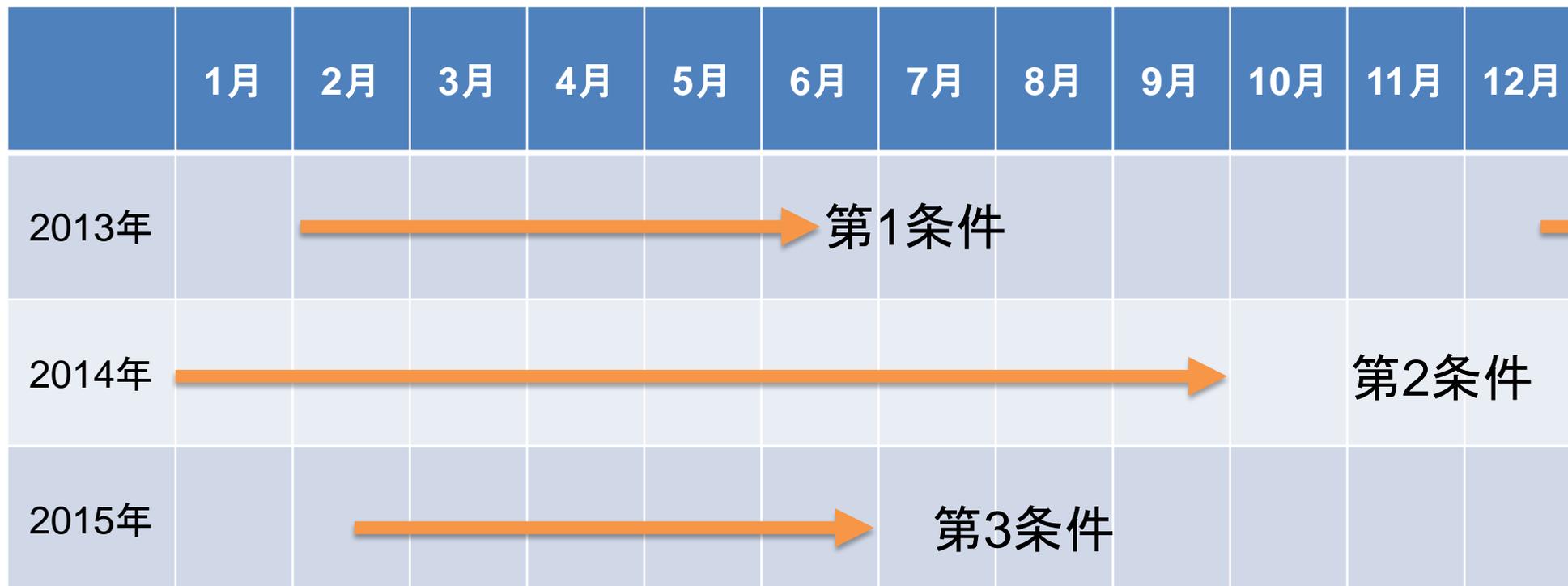
Gavion外部



Irrigation Pipe 400 mm間隔



断熱材



- 2013年2月から第1回目の試験(第1条件)を開始
  - 第1条件の目的はスケールアップに伴う問題点の把握や基本的な条件の設定
- 2013年12月から第2回目の試験(第2条件)を開始
  - バクテリアを接種し、バイオリッチング効果を検証
- 2015年2月から第3回目の試験(第3条件)を開始

## 第2条件(バクテリア接種なし)

目的	スケールアップの問題点把握		1M硫酸による発熱効果の確認	自生菌の発生の有無を確認
結果	散布液の流れがGavion内で偏る		Gavion内温度は高い所で50℃、低い所で40℃程度まで上昇 散布終了後から温度は低下	自生菌に、目的とする <i>At. caldus</i> が含まれない
原因	鉱石積込み時の踏み締め	散布液のpH上昇による沈殿と流路閉塞 工業用水中のカルシウム濃度が高い 酸の供給量が少ない		



改善点	硫酸でアグロメレーションし、団鉱を強く積込方法を変更	カルシウムが少ない水を利用	pH1を散布し続ける流量を増加	引き続き、1M硫酸を散布その後、ヒーターによる加温	現地で採取した <i>At. caldus</i> を含む菌群を培養して散布
-----	----------------------------	---------------	-----------------	---------------------------	--

## 第2条件(バクテリア接種)

		第2条件	第1条件
鉱石	鉱石粒度	<3/8 inch	<3/8 inch
	アグロメレーション	水 4 % 硫酸 5 kg/t	水 4 %
	鉱石量	205 t (実測)	約169 t (推定)
	積込み方法	クレーン バケット 少し人力	ホイールローダー バックホー 人力
1M硫酸	散布量(ワンパス)	約180m <sup>3</sup>	約77m <sup>3</sup>
	散布期間	30日間	19日間
浸出液	散布流量(循環)	10L/h/m <sup>2</sup>	6.8L/h/m <sup>2</sup>
	pH	pH 1.0	出口pH2.0~2.5
	散布期間	257日間(0.1M4日間)	108日間(0.1M6日間)
バクテリア		あり(現地集積菌)	なし
エアレーション		必要に応じ	なし

# 第2条件の実施期間と結果

作業	2013年		2014年											
	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	
アグロメレーション・積込	■													
1M硫酸散布		■	■											
0.1M硫酸散布			■											
pH1硫酸散布			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
バクテリア接種				■	■	■	■	■	■	■	■	■		
予備試験 鉱石剥ぎ取り										■	■			
予備試験 エアレーション										■	■			
予備試験 トレーサー試験												■		
解体												■	■	

		第2条件	第1条件
銅浸出率	1M硫酸	2.80% (30日間)	0.81% (19日間)
	循環散布	1.98% (257日間)	1.69% (108日間)
	合計	4.78%	2.50%



アグロメレーションを硫酸で行うことに加え、鉱石積込み時になるべく人が鉱石上に乗らないように、左写真のように鉱石を上部から落として積み込んだ。



しかし、硫酸散布前から鉱石が沈み、散布後は更に沈んだ。

11/29  
積込  
1日後



12/10  
散布  
初日



12/9  
積込  
10日後



12/18  
散布  
9日後





4m

3m

2m

1m

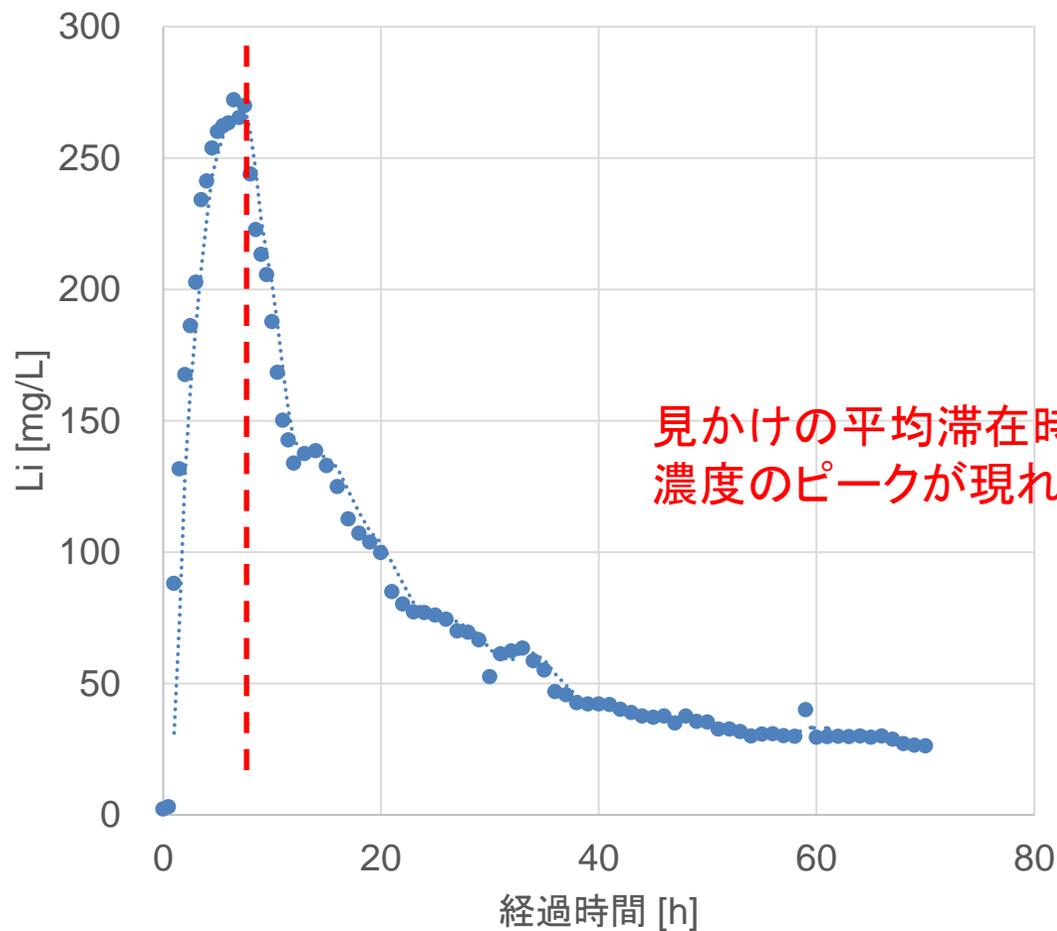
0m

黄色い筋が見られる

2-3 m: 黄色い部分が筋状から広がってきている。下半分は灰色が優勢に見える

1-2 m: 灰色が優勢

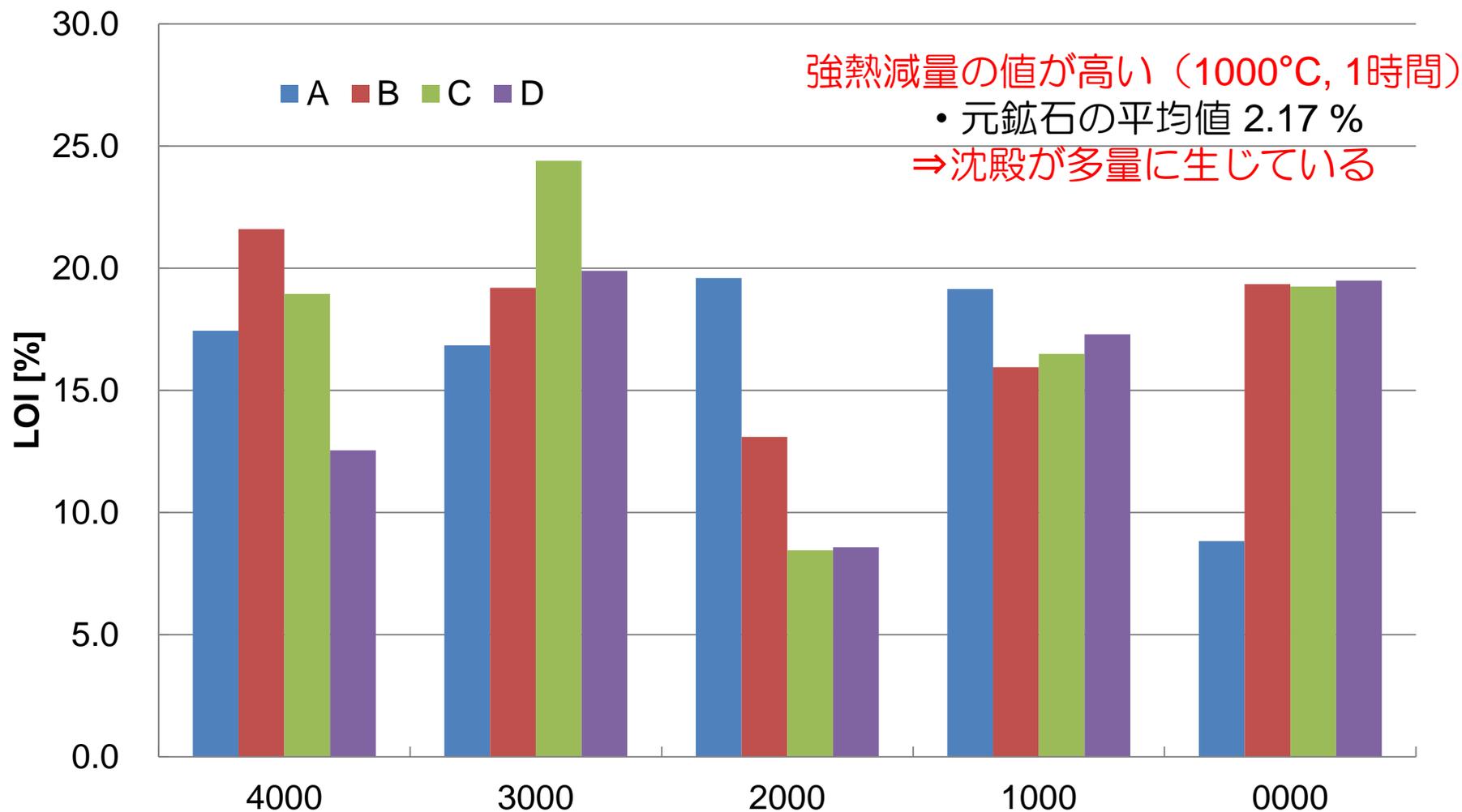
0-1 m: 茶色が広がっている。

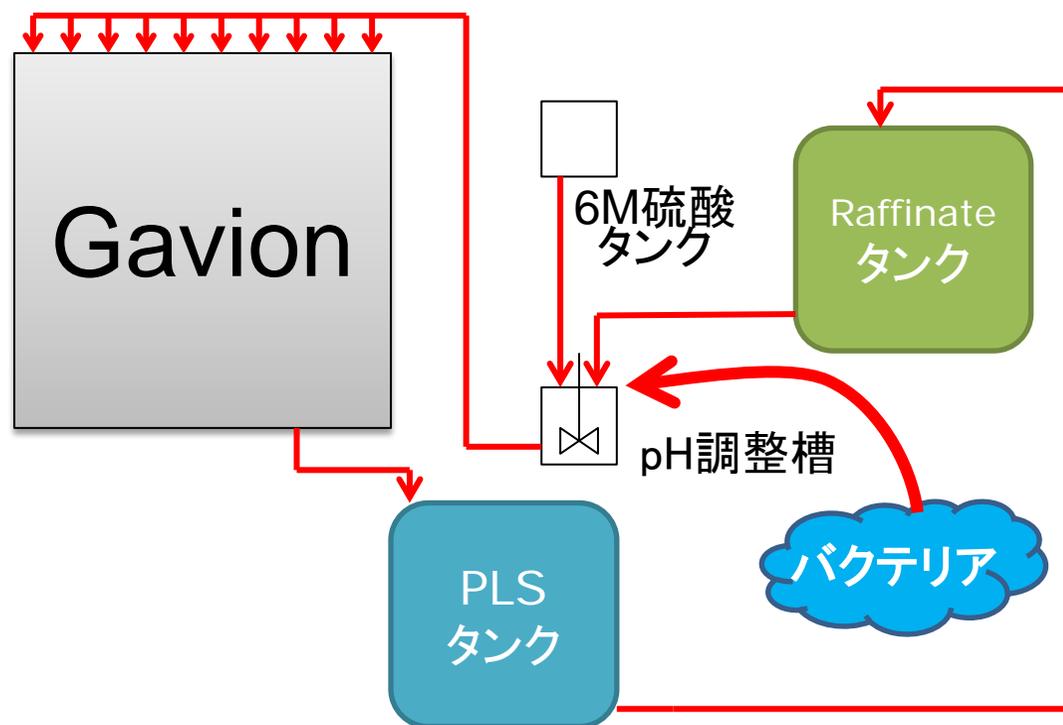


Liを使ったトレーサー試験  
散布Li濃度: 1000 mg/L  
散布時間: 7h5min

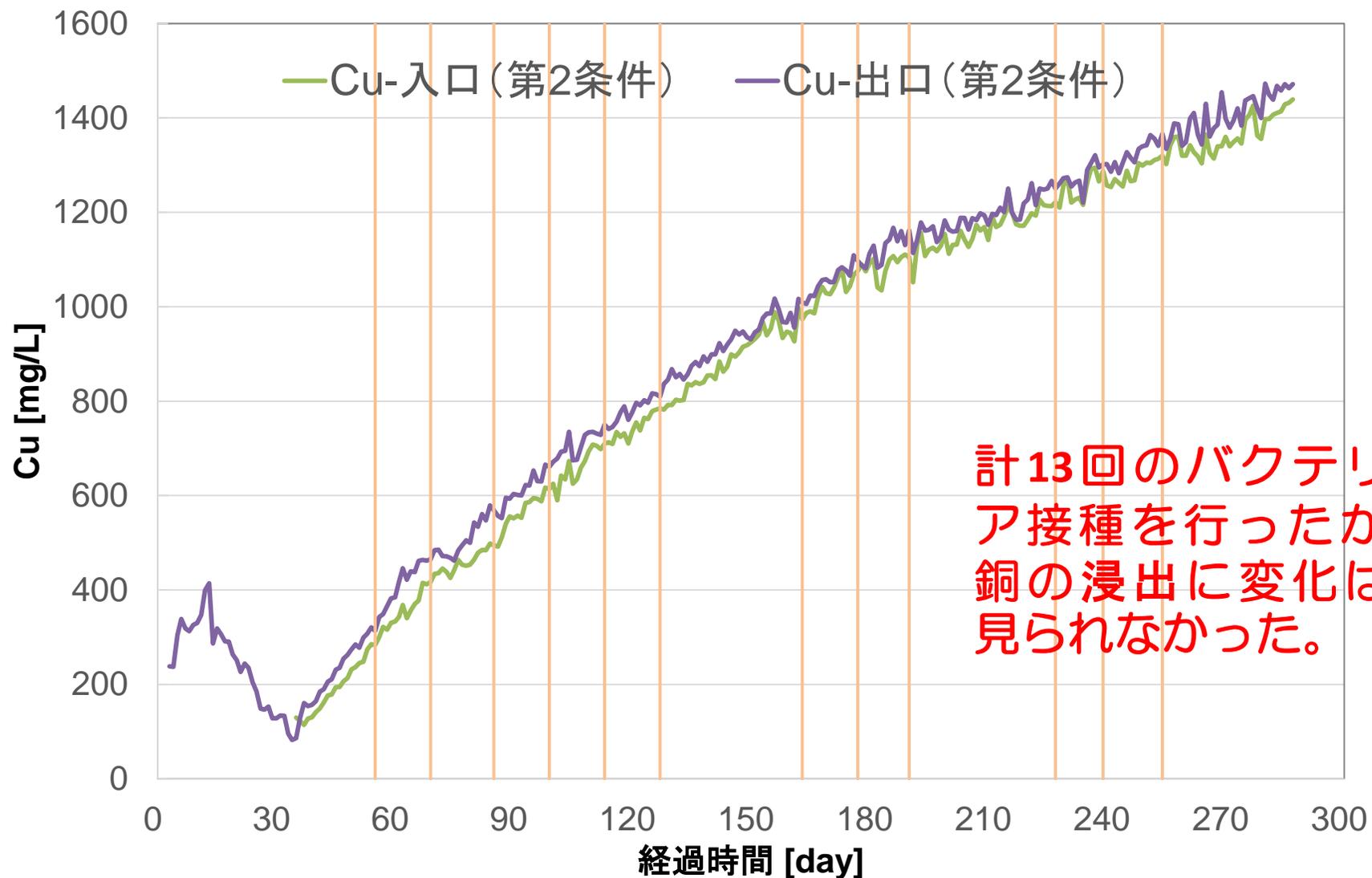
見かけの平均滞在時間98 hよりもかなり早く出口Li濃度のピークが現れた

Gavion出口のLi濃度の経時変化



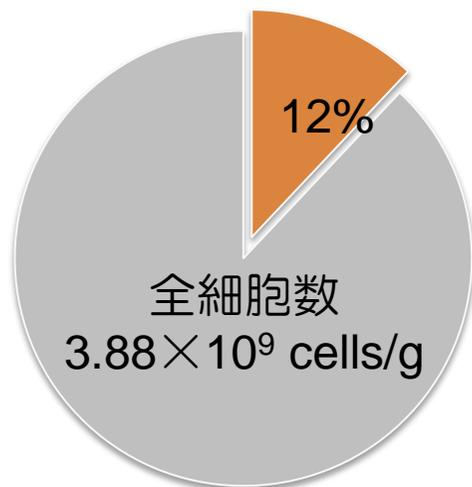


菌体数:  $10^7$  cells/mL  
投入時に1/10程度に希釈される  
50 L/日 × 6日



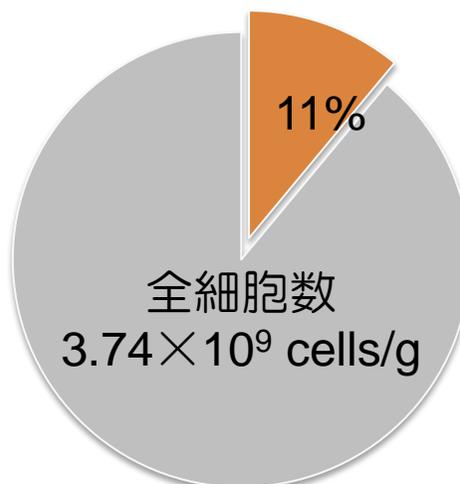
鉍石層表面の中心で、約10 cm下の鉍石を採取

4/15採取



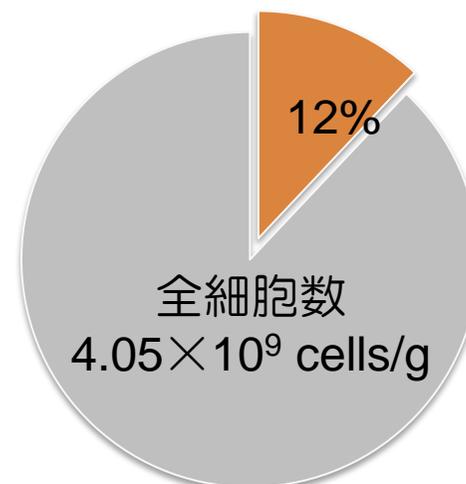
■ 生菌 ■ 死菌

5/20採取



■ 生菌 ■ 死菌

7/10採取



■ 生菌 ■ 死菌

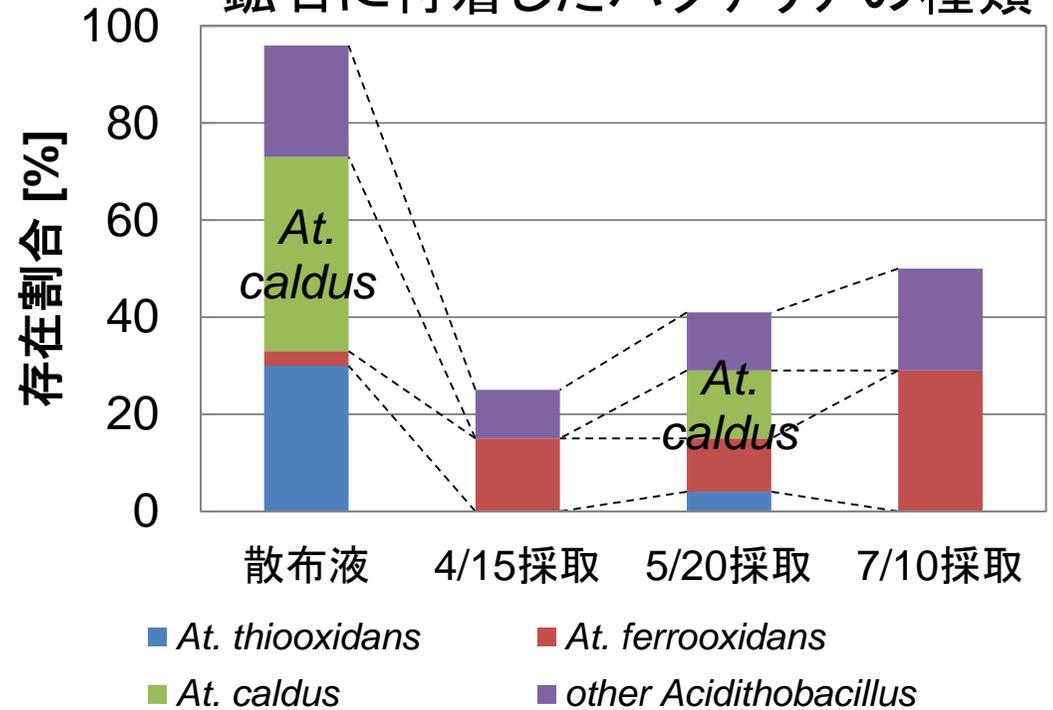
- 生菌が少ない。(50%以上は必要)
- 7/10の直近3回のバクテリア接種では菌濃度を増やして接種したが変化がなかった。

# ⑤ バクテリアの種類



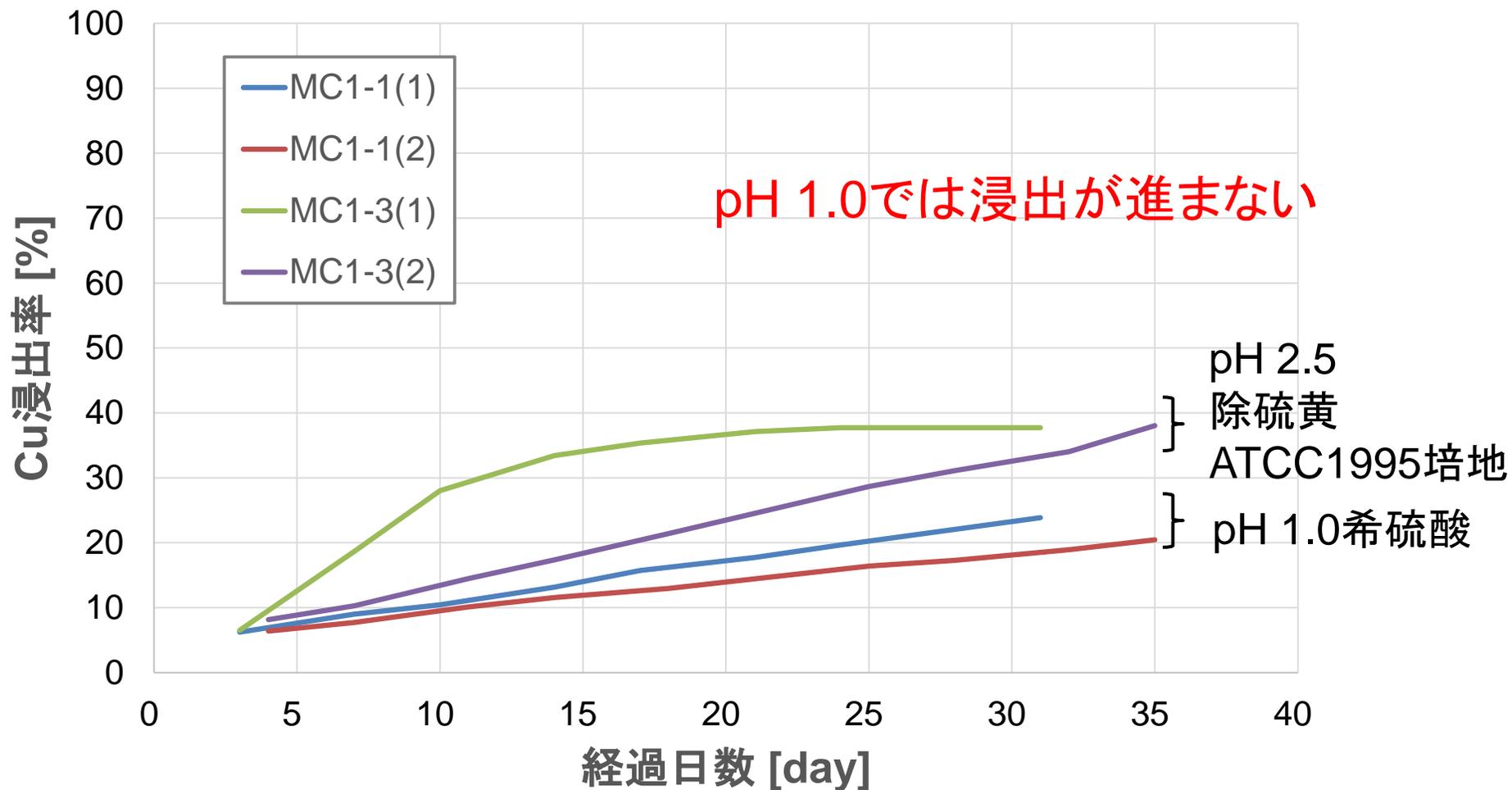
鉱石表面に水溜りができるので、溝と穴を作り散布した。

## 鉱石に付着したバクテリアの種類

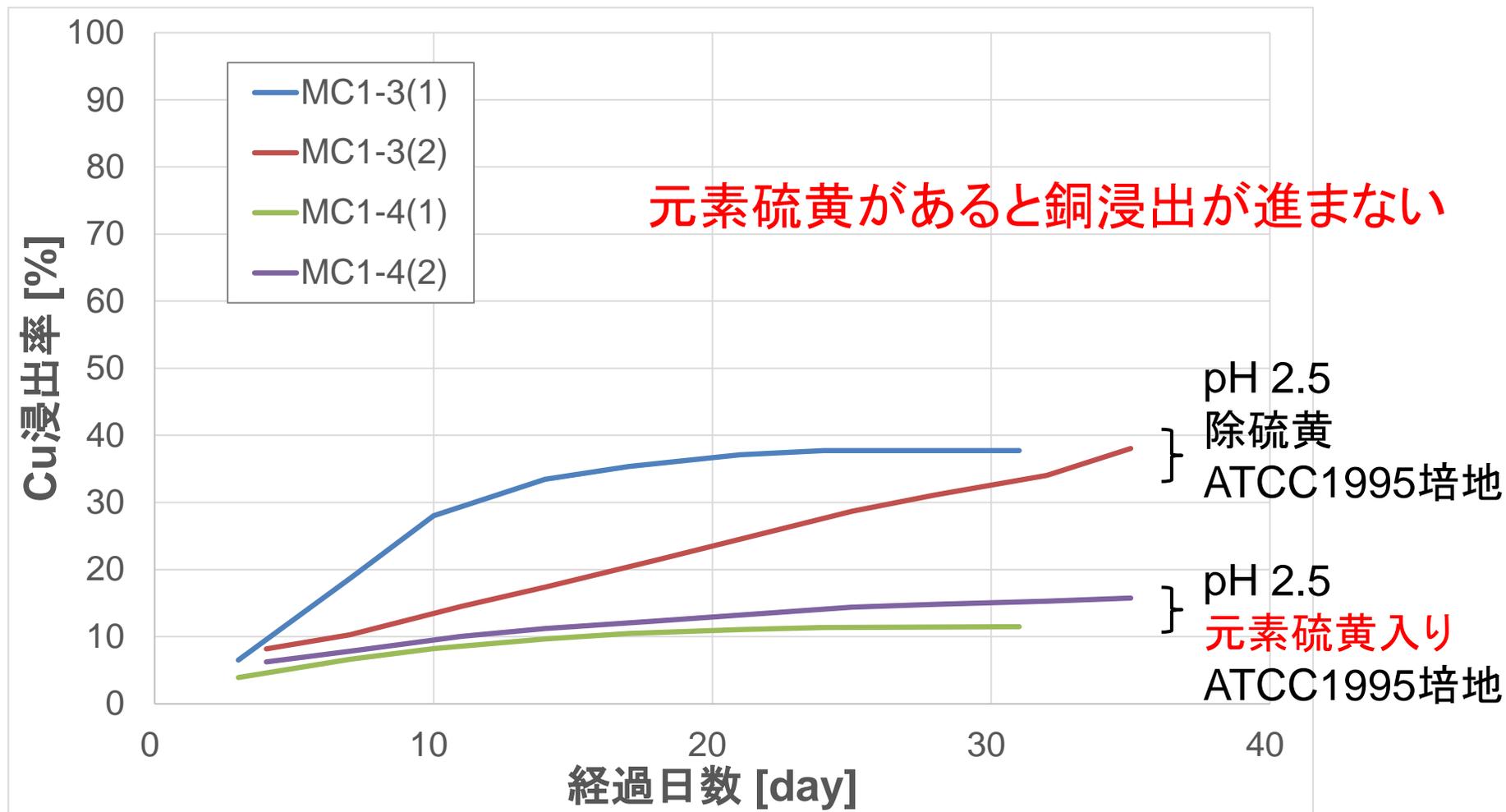


- 散布液が鉱石層内に染み込まない？
- 鉱石層内で *At. caldus* が増えない。  
(培養時の硫黄に付着したままなど)

## 現地集積菌MC-1による黄銅鉱精鉱のフラスコリーチング



## 現地集積菌MC-1による黄銅鉱精鉱のフラスコリーチング



- 第2条件は2013年12月17日から2014年9月30日まで(257日間)浸出液を散布した。
- 最終的な浸出液の銅濃度は約1,600mg/Lと低かった。(第1条件は101日間で約1,200mg/L)
- 銅浸出率は、1 M硫酸散布時2.10 %、その後227日で1.36 %、合わせて3.46 %であった。
- 計13回接種したバクテリアの効果は、銅濃度の変化からは確認できなかった。
- 一番大きな問題は鉱石層内に浸出液が流れ込んでいないこと。

# 第3条件と第2条件の条件整理

		第3条件	第2条件
鉍石	鉍石粒度	<3/8 inch	<3/8 inch
	鉍石量	142 t	197 t
	高さ (断面積)	3.55 m (5 × 5 m <sup>2</sup> )	4.65 m (5 × 5 m <sup>2</sup> )
	銅品位	0.72%	0.77%
積込み方法		クレーン・バケット・少し人力	クレーン・バケット・少し人力
流量		10 L/h/m <sup>2</sup>	10 L/h/m <sup>2</sup>
1M硫酸散布期間		約17日間 (加温なし)	約30日間 (加温なし)
pH1硫酸循環散布期間		約13日間で中断 (50°Cに加温)	約257日間 (50°Cに加温)
トレーサー試験		積込後、試験中盤、終了時	終了時



- バイオリーチング効果の検証するための条件が整った。
- 試験を再開し、次の試験のためのデータを取得中である。
- 7月から新たな条件で試験を開始する。