

【事業の目的・目標】

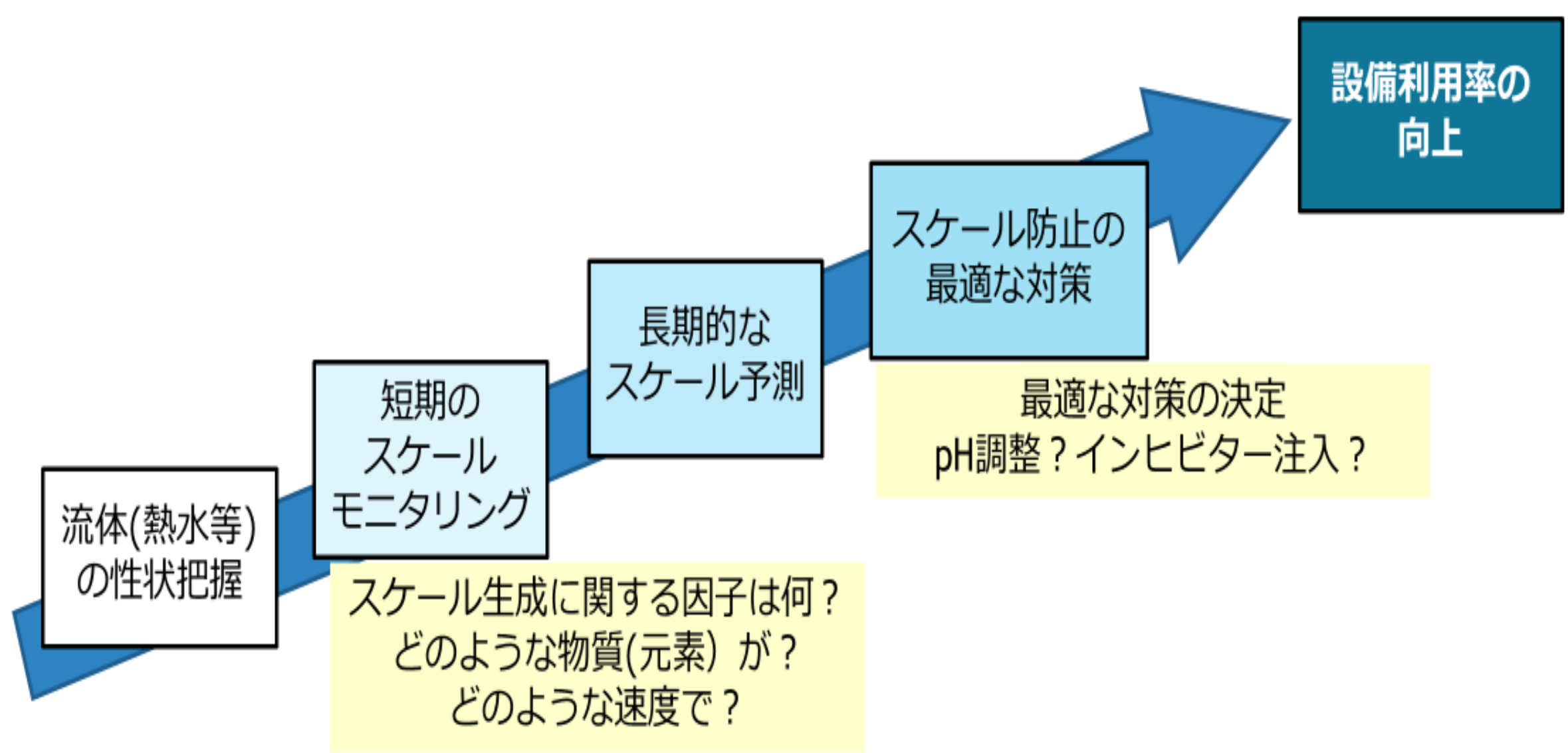
多くの地熱発電所は依然としてスケール問題を抱え続けている

- ・還元井の還元容量減衰
- ・熱水輸送管の閉塞
- ・バイナリー熱交換器のスケール付着 等



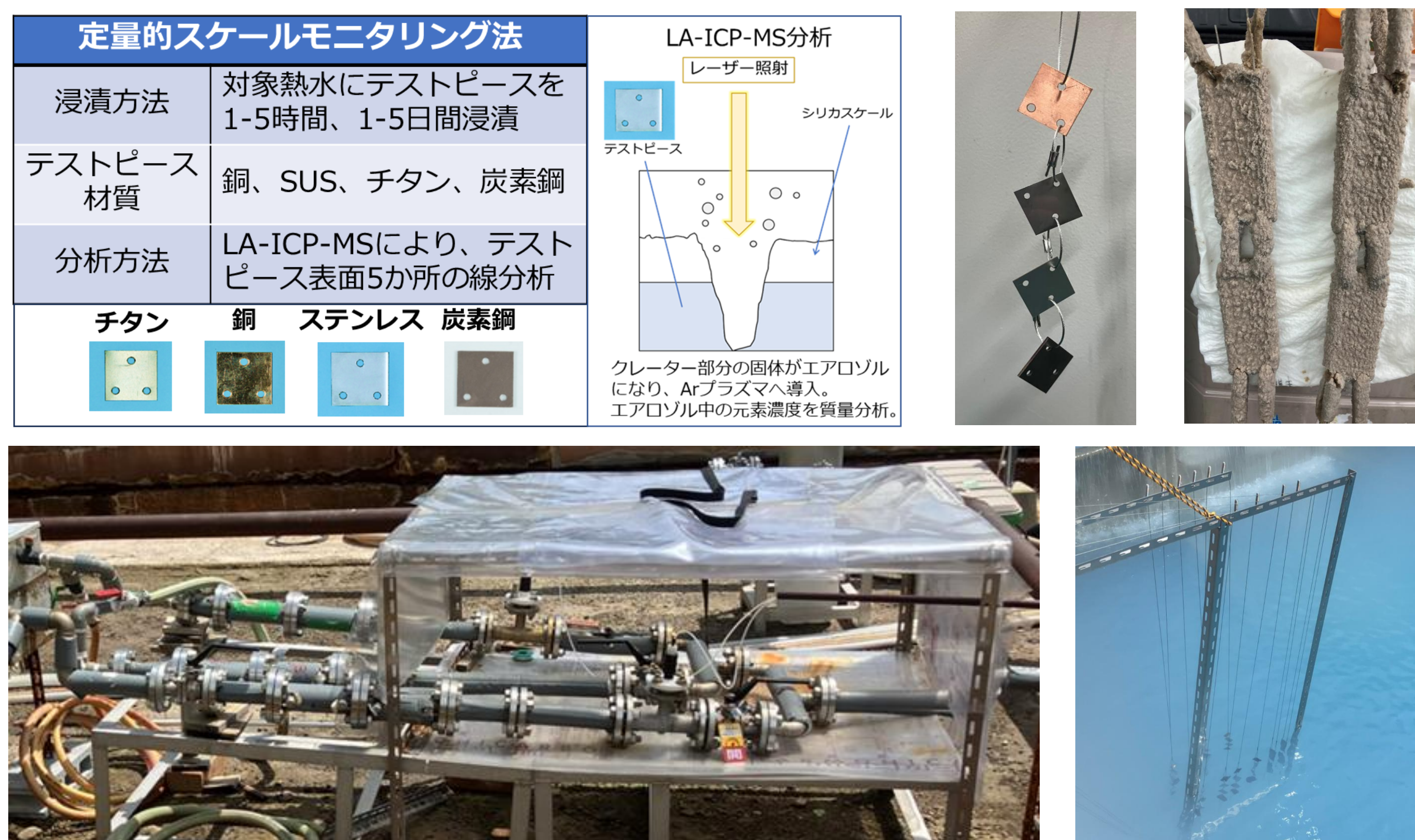
短期（数日程度）のスケールモニタリング法・評価法を確立し、そのデータから長期的なスケール生成を予測する技術を確立する

最終目標：地熱発電所におけるシステム利用率を10%～20%向上



【スケール試験方法】

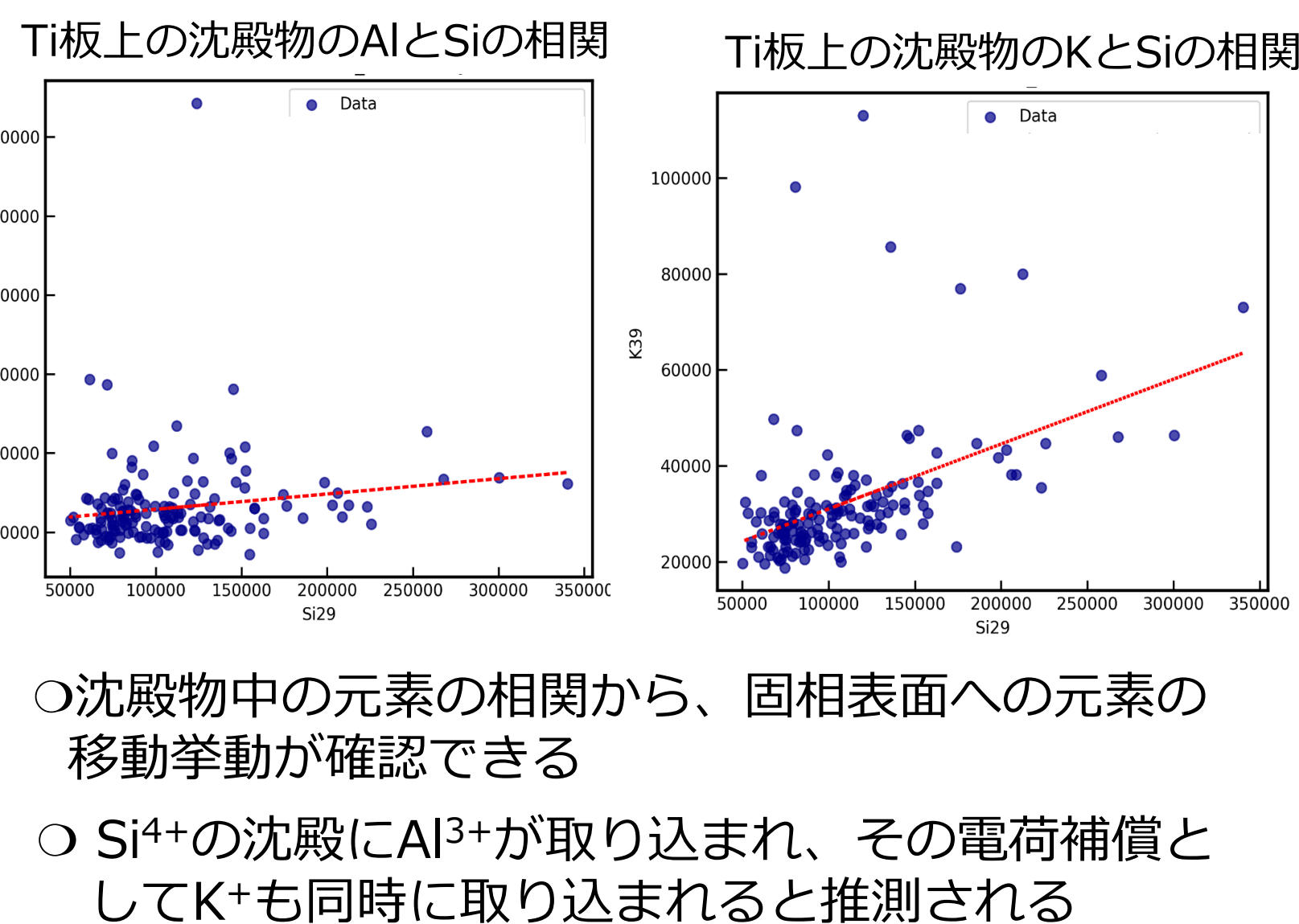
AI入力データセットの収集のため定量的スケールモニタリング法を用いた短期スケール試験と長期スケール試験を実施



【主な成果】短期・長期スケール試験結果（A発電所）

- シリカ濃度が高いピット入口のシリカの重合速度は速く、ピット中間は既に重合が進んだ地点のため溶解性シリカの減少は低かった。
- ピット中間における1カ月のスケール付着量は14mg/cm²程度であり、これは既にシリカが重合しているためと考えられる。

	地点名		ピット入口	ピット中間
	温度	(℃)	93.5	88.8
熱水成分	pH	(-)	9.08	8.19
	電気伝導率	(mS/m)	203	204
	ナトリウム	(mg/L)	377	373
	カリウム	(mg/L)	76.9	77.4
	カルシウム	(mg/L)	1.63	1.68
	マグネシウム	(mg/L)	0.005未満	0.005未満
	アルミニウム	(mg/L)	0.96	0.96
	塩化物イオン	(mg/L)	549	559
	硫酸イオン	(mg/L)	42.5	40.0
	珪素	(mg/L)	0.92	0.92
	全鉄	(mg/L)	0.04未満	0.05
	全シリカ	(mg/L)	881	884
	溶解性シリカ	(mg/L)	825	504
	炭酸水素イオン	(mg/L)	42	36
	硫化水素	(mg/L)	0.49	0.04未満



- 沈殿物中の元素の相関から、固相表面への元素の移動挙動が確認できる
- Si⁴⁺の沈殿にAl³⁺が取り込まれ、その電荷補償としてK⁺も同時に取り込まれると推測される

スケール付着への表面粗さ、流速の影響

- 試験用テストピースの表面粗さは0.2～0.5μm程度、配管表面は2.5μmであった。
- pH調整後の熱水でのスケール試験の結果、スケール付着量は2週間後に急激に上昇した。一方、表面粗さは経過日数に比例して大きくなった。

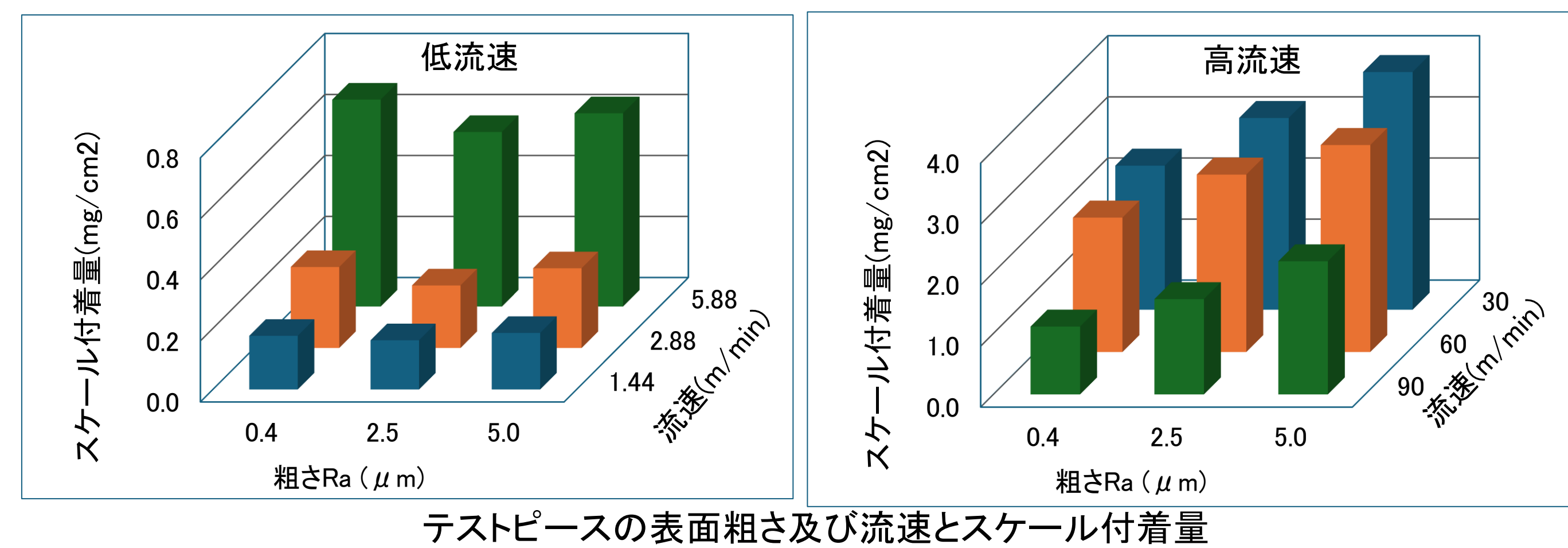
○ 表面粗さの異なるテストピースを用い、流速を変えてスケール試験を行った。

【低流速】

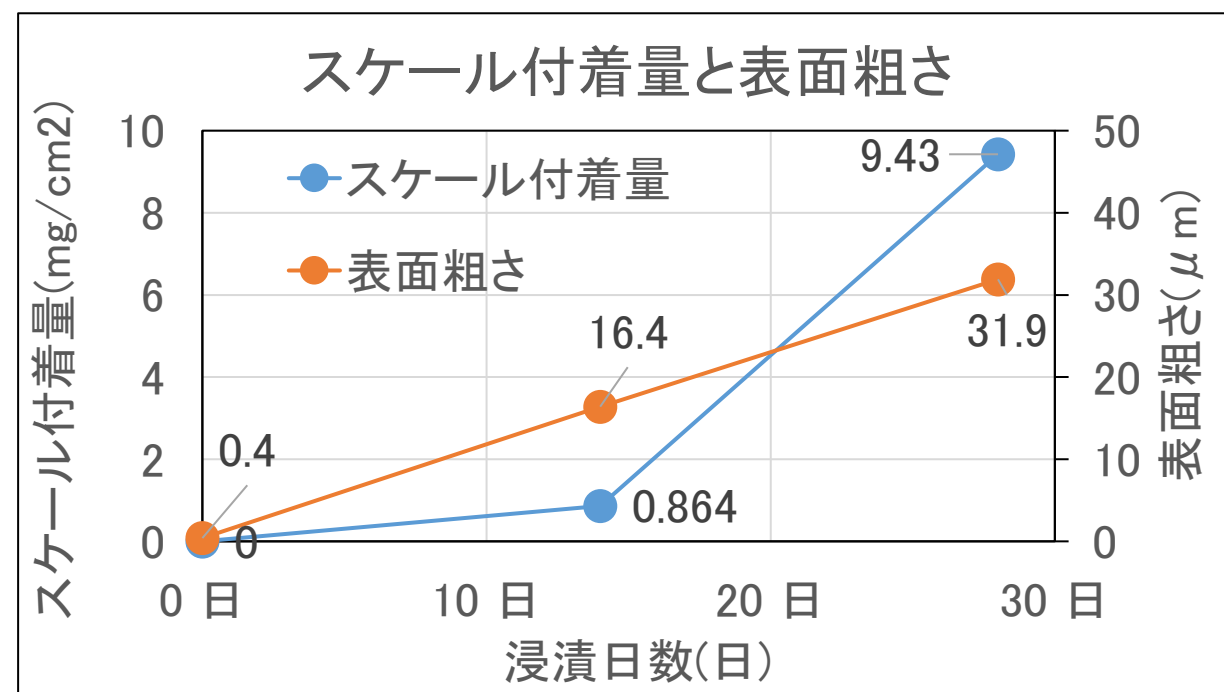
- ・低流速では、流速が同じであれば粗さによるスケール付着量の差はみられなかった
- ・流速の上昇とともに付着量は増加した。

【高流速】

- ・粗さが大きくなるほど、流速が小さくなるほどスケール付着量は増加した。

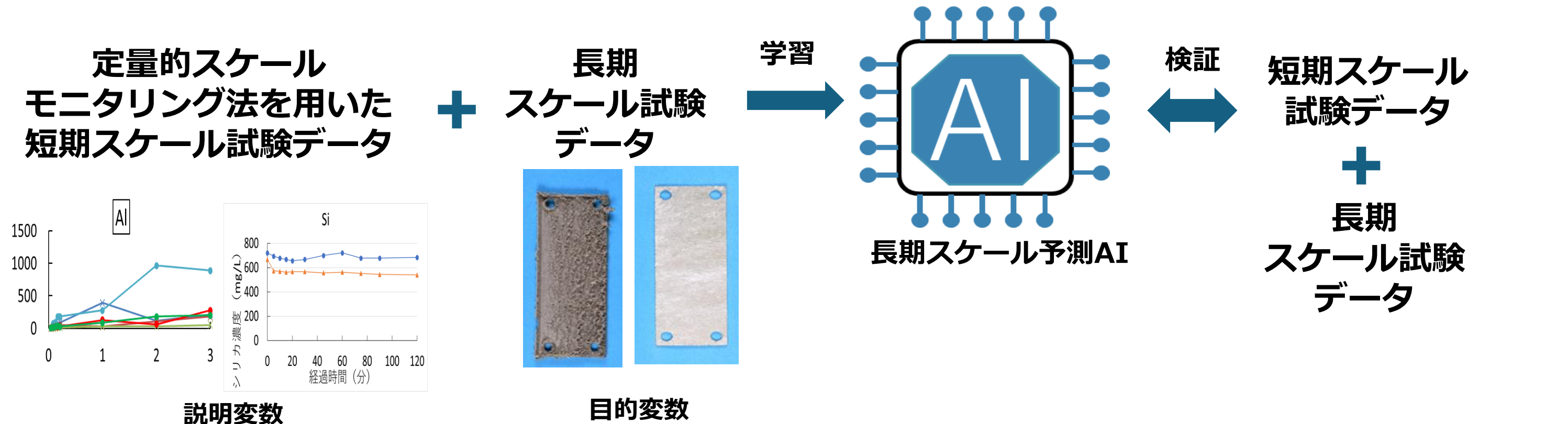


材質	短期テストピース	長期テストピース	試験配管(sus)
粗さRa(μm)	0.24 ~ 0.49	0.25 ~ 0.34	2.5



【スケール予測AIの構築方法】

- 定量的スケールモニタリング法を用いた短期スケール試験と長期スケール試験から得られたデータセットを用いてAIモデル構築
- 実証試験装置を用いたスケール試験等で得られたデータセットによるAIの更なる学習



スケール生成予測AIの予測精度検証結果

1 小規模データからのAI構築

説明変数(短期試験)	最良モデルの学習精度(R ²)	10個のアンサンブルモデルの平均精度(R ²)
1. 熱水成分 + 浸漬日数	0.7904	0.7182
2. 熱水成分 + 浸漬日数 + テストピース浸漬試験	0.9012	0.8287
3. 熱水成分 + 浸漬日数 + 重合実験(SIT, SiM, AIR濃度)	0.9495	0.9061
4. 熱水成分 + 浸漬日数 + 重合実験 (SiM/SiT)	0.8795	0.7927
5. 熱水成分 + 浸漬日数 + 重合実験 (Kinetics)	0.9466	0.9173
6. 熱水成分 + 浸漬日数 + 熱水成分のグルーピング	0.8689	0.8040

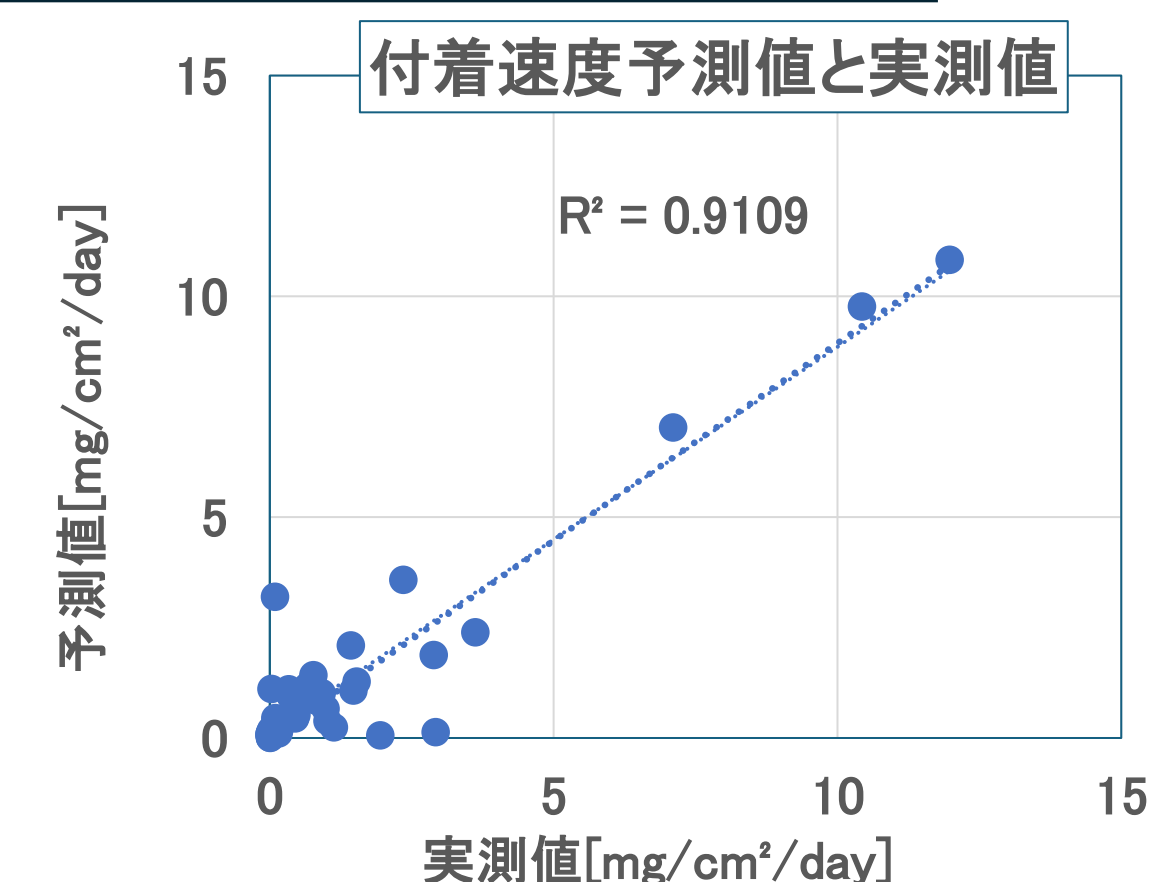
2 AI構築（説明変数と目的変数）

説明変数 パラメータ
【熱水成分パラメータ】
・ Temp, pH-Field, 熱水成分濃度(Na, K, Ca, Mg, T-Al, Cl, SO4, T-Fe, T-Si)
・ グルーピングナンバー:パラメータ(pH, Si, Al, Fe)をグルーピングし、値付けた値(0,1,2)
【重合試験パラメータ】
・ 0～60分の各時間における単位時間当たりの全ケイ酸濃度変化量[ppm/min]
・ 0～60分の各時間における単位時間当たりのモノケイ酸濃度変化量[ppm/min]
・ 0～60分の各時間における単位時間当たりの反応性Al濃度変化量[ppm/min]
・ 0～60分の各時間におけるモノケイ酸濃度/全ケイ酸濃度(SiM/SiT)
【テストピース浸漬実験パラメータ】
・ 熱水槽に浸漬させた金属片の材質(0がTi, SUSが1)
・ 金属片の浸漬時間
・ 金属片に付着した各元素のLA-ICP-MSの1h～120hの濃度変化の近似直線の傾き('Na-slope', 'Mg-slope', 'Al-slope', 'Si-slope', 'K-slope', 'Ca-slope')
目的変数 パラメータ
・ 1日当たりの金属片単位面積あたりの付着物の重量[mg/cm ² /day]
・ 金属片単位面積あたりの付着物の重量[mg/cm ²]

3 大規模データへの拡張

用いるデータ数を増やしてスケール予測AIモデルを構築した。予測させる目的変数は付着速度とした。

その結果、実測値と予測値の相関は0.9109となり、予測精度の高いAIモデルが構築できた。



【今後の課題】

- ・ データセットの拡充 → 様々な熱水性状、異なる物理条件での試験データの蓄積
- ・ AI予測精度の向上 → 学習レベル向上、利用するデータの選択、予測エリアの限定

【実用化・事業化】

スケール評価事業

