

平成 22 年 12 月 20 日

## 地下水汚染浄化実証試験の報告（概要）

## 1. バイオトリタビリティ試験（室内試験） 結果概要

## 1.1 促進剤の選定

本試験は、主にシス-1,2-ジクロロエチレン（以下、DCE とする）による地下水・土壌汚染が確認されている当該地域での現地パイロット試験に適用する微生物分解促進剤（以下、促進剤とする）を選定するために実施した。

本試験では、促進剤の安全性、効果持続期間、施工性、地質に対する適応性、浄化工期、環境影響、実績等を勘案した上で、EDC（エコサイクル社製）及び HRC（リジェネシス社製）の二種の促進剤を選定した。

室内で、当該地域で採取した地下水・土壌等及び上記二種の促進剤を、ガラス製の密閉容器に封入し、試験系を作成し、容器内地下水中の汚染物質の分解状況を観察した。

試験の結果、本仕様下では促進剤 HRC と比較して、促進剤 EDC が容器内地下水中の VOC 分解を円滑に行うに至ったと判断できる。

したがって、パイロット試験に用いる促進剤としては、その効果の程度及び現地パイロット試験工期等の制約条件を踏まえ、促進剤 EDC を採用することが妥当と判断した。

## 1.2 試験成果整理時の課題

促進剤 HRC の試験結果において、対象系（コントロール系）で比較的大きな DCE 濃度の低下が確認された。

別途確認試験を行った結果、小容量の容器内に再封入した試験系においても同様の DCE 濃度の低下が確認されたことから、試験系の機密性、分析用試料の採取操作には大きな問題はないものと判断した。

一方で、初期時点において、HRC 試験系内の TOC 濃度が高いなど、EDC 試験系との差異が大きく、それゆえに、DCE 濃度の低下が生じたものとして成果を整理する方針である。

## 2. 現地パイロット試験 進捗概要

室内試験結果から促進剤 EDC を採用し、現地パイロット試験で有機塩素化合物の浄化を実施した。

当該地域のうち、高濃度の地下水汚染が確認されている区域に 10m × 10m（100 m<sup>2</sup>）の試験領域を設定した。

領域内 5 箇所の井戸より促進剤溶液を地中へ注入し、その後、中断期間を含め、27 日間（6 月 19 日終了）上記 5 箇所の井戸を含む計 9 箇所の井戸を用いて、領域内地下水を揚水及び注水により循環させ、地中での促進剤濃度の均質化を図った。

上記循環工程終了後、129 日間（10 月 26 日まで）に亘って定期的に地下水質等を測定し、経過を観察し、実証試験の終了とした。

## 2.1 汚染物質の分解傾向

- (1) 循環工程終了後、31 日目（7 月 20 日）まで地下水中の DCE、塩化ビニルモノマー及びエチレンの水中比率に大きな変化は確認されなかった。
- (2) 同 31 日～129 日目（10 月 26 日）までで地下水中の DCE 比率の低下、塩化ビニルモノマー及びエチレン比率の上昇が確認された。

- (3) 試験領域内での汚染物質の分解効率を確認するため、VOC 類主要 4 項目の水中濃度を mol 濃度へ変換し、その総量及び変動傾向を確認した。分解効率については、地下水流向の上・下流により顕著な差異が見られ、概ね下流側において早い分解傾向が確認された。
- (4) 循環工程終了 129 日目（10 月 26 日）現在、地下水下流側に位置する C、N、NE、NW、M-1、M-4 の 6 地点で、DCE の環境基準（0.04mg/L）への適合が確認された。加えて、N、NW、M-4 の 3 地点で、塩化ビニルモノマーの地下水基準（0.002mg/L）への適合が確認された。
- (5) 地下水上流側に位置する SE、SW では、(3) で確認した VOC 類主要 4 項目の mol 量比率の変動が緩やかであった。また、SW において、試験期間中に顕著な mol 総量の増加が確認され、領域外からの汚染物質再流入が示唆される。
- (6) 地層中における汚染物質残存状況の確認のため、地質ボーリング調査を実施した（11 月 18 日）。調査の結果、砂質土層区間において試験開始前に検出された DCE 濃度は、定量下限値（0.002mg/L）未満となった。また、シルト質土層区間においても DCE 濃度の低下が確認された。
- (7) 同上の調査において、シルト質土層区間において試験開始前に地下水基準を超過して検出された塩化ビニルモノマーについては、濃度の変動は見られるものの、試験終了時においても同様に検出された。

## 2.2 促進剤の消費傾向

- (1) 39.4 m<sup>3</sup>の初期注入溶液中に 1125kg の EDC を溶解させた。
- (2) (1) より初期注入溶液中の促進剤濃度は約 28.55g/L（TOC 換算で約 10600mg/L 相当）である。
- (3) 循環工程終了後 3 日目（6 月 22 日）の TOC は領域内平均で 795mg/L であり、初期注入溶液に対して約 8%の濃度に相当する。
- (4) 循環工程終了後 129 日目（10 月 26 日）の TOC は領域内平均で 145mg/L であり、おおよそ、この期間で地下水中の促進剤量は 2 割程度まで減少している。
- (5) 試験領域内地点のうち、S、E、W、SW、SW、M-1、M-2 の 7 地点でメーカーが推奨する促進剤濃度の管理値（TOC 換算で 100mg/L）と比較して、低い状況が見受けられる。
- (6) 別途、促進剤濃度とトレーサー（臭素イオン）濃度との相関を確認したところ、循環工程終了後の一時期を除き、比較的高い相関を示すことが確認された。これより、促進剤の領域外への流出が示唆される。

## 2.3 汚染物質分解菌（DHC 菌）の増殖傾向

- (1) 自然状態と循環工程終了後 46 日目（8 月 4 日）との比較で、約 6 乗オーダーでのコピー数増加が確認された。
- (2) 循環工程終了後 3 日目（6 月 22 日）と同 46 日目（8 月 4 日）との比較で、約 1～2 乗オーダーのコピー数増加が確認された。
- (3) 129 日目（10 月 26 日）に採取した試料を対象に実証試験終了時の分析を実施した結果、前回（8 月 4 日）と比較して、概ね横ばい傾向を示した。

## 3. 土壌ガス調査

現地パイロット試験に並行して、同試験領域及び近傍で有害ガス発生状況等を確認する表層土壌ガス調査及び孔内ガス調査を実施した（7 月 16・17 日、7 月 29・30 日及び 8 月 3・4 日）。

調査の結果、一部の区域において爆発限界を超える濃度での可燃性ガスの発生が確認された。

今後、この結果を踏まえて、総合的な環境影響等をまとめ、本施工時の基礎情報として活用する予定である。

#### 4. 今後の業務対応

##### 4.1 室内試験と現地パイロット試験の条件の違い

室内試験は、密閉容器内で実施され、閉鎖系であるので外乱の影響を受けず、絶対嫌気条件化での脱塩素化が進行しやすい環境にある。また、促進剤添加後の攪拌作業等により、促進剤効果の発現の早期化が促されやすい環境にある。

一方、現地パイロット試験は、試験領域とその外部との地下水の流入、上下の不飽和層、飽和層との地下水および各種物質の出入りが起こりうる連続した系での実施となる。

以上のようなことから、一般に室内試験と比較して、現地レベルでの汚染物質分解反応は、地下水の上流部からの汚染物質の再流入、硫酸イオン等の阻害要因の存在により緩慢となる傾向を示すことが多い。

##### 4.2 現地パイロット試験における汚染物質分解に対する主な阻害（遅延）要因

現地での汚染物質分解反応（嫌気条件下における脱塩素反応）は、DCEの分解や塩化ビニルモノマー及びエチレンの生成状況からその進行が確認された。但し、その変換速度は室内試験と比較し、緩慢に進行した。

観測データから、汚染物質分解の進捗に対して、特に下記2項目の影響を受けてのものと考えられる。ただし、実現象については、その他の要因も含め、複合的な要素が関連した結果と考えられるため、その影響の程度を厳密に判定することは困難である。

###### (1) 硫酸イオンの不均質な分布

- ・試験領域内北東部に位置する、観測井 M-1 を最高濃度地点として、硫酸イオンが高濃度で検出された。
- ・試験領域内の検出箇所平均値で評価すると、初期溶液注入から 51 日目、循環工程終了から 24 日目（7 月 13 日）で、室内試験開始時とおおよそ同水準まで低下した。
- ・**112 日目（10 月 12 日）で、再度、領域内 E で 150mg/L、領域外 M-3 で 97mg/L と高濃度で検出されるなど、今後も領域外からの流入が懸念される。**

###### 今後の対応

- ・**試験初期段階で確認された、硫酸イオンの高濃度分布域が局所的な分布であったことから、その出生は盛土部からの溶出など、領域場特有の要因として整理する方針である。**

###### (2) 試験領域外からの汚染物質の流入

- ・汚染物質の平面分布状況から、試験領域外（特に南西部）にさらなる汚染物質の高濃度分布域が存在する可能性が示唆される。

###### 今後の対応

- ・試験期間中の降水量、地下水位変動との相関を把握し、評価する必要がある。

##### 4.3 試験成果の整理方針

試験成果を整理するにあたっては、委員会の席においてもご指示いただいたとおり、**汚染物質および促進剤の領域内での収支をもって評価することが求められる。**そのため、原位置試験においては、地下水の流入の影響を踏まえて、その評価領域を設定する必要がある。

本試験においては、当初計画に対して試験期間を延長したこともあり、その影響が顕在化し、評価領域の設定について、委員の先生方からも再度ご意見を伺い、その方針を調整したいと考えます。

**方針案としては、試験期間を通して、汚染物質および促進剤が安定した濃度で分布したと推定される NW 近傍での測定結果を現地における理想的分解状況と解釈し、多地点との離隔、分解状況の関係から分解領域の分布を把握する等の手法が挙げられる。**

#### 5. 現地パイロット試験実施時に生じた課題

##### 5.1 計画時と異なる試験領域内の地下水流向への対応

計画当初、試験領域周辺の地下水流向は、当該地域全域の地下水位分布から、おおよそ北東流であると推察されたのに対して、初期溶液注入作業前に現地パイロット試験に用いる各種井戸計 12 基および既設観測井 A2 で観測した地下水位からは北西流であると推察された。

そのため、測定結果を基に初期溶液注入量及び循環工程中の周辺井戸への再注入量を変更しパイロット試験を実施した。

また、循環工程終了後の汚染物質、促進剤の拡散傾向の把握のために地下水流向下流部に観測井 M-4、M-5 を追加設置した。

##### 5.2 循環工程時の井戸の詰まり

循環工程時に再注入先の井戸への計画注入量が確保できない事態となった。推定される原因としては、促進剤溶液の粘性、微生物の繁殖及び土粒子等による井戸スクリーン部の目詰まりが考えられる。

そのうち、循環水中の土粒子の影響については、各井戸の底部に堆積した土粒子を対象に粒度試験を実施し、その粒径分布を確認した。

確認の結果、各井戸の底部から回収された土粒子は、粒径 0.1～0.3mm の細砂を主体とする均質な砂であった。

今回の井戸設置時には、同等の業務で一般的にフィルター材として用いられる 2 号けい砂を使用した。粒径の小さな 3 号けい砂を適用することで循環工程時の土粒子の流入を低減できる可能性が示された。

##### 5.3 可燃性ガスの発生

3. に示したとおり、表層土壌ガス調査及び孔内ガス調査の結果から、爆発限界を超える濃度での可燃性ガスの発生が確認された。

本施工時に、住宅地域を含む当該地域の特性を考慮し、本試験で採用しているバイオステイミュレーションの適用範囲の検討及び適用時のリスク軽減策の検討を行う必要があるものと考えられる。

主なリスク低減対策としては、定期的なガス測定、ガス吸着材の使用、観測井からのガス吸引、注入溶液の希釈倍率の変更等が考えられる。

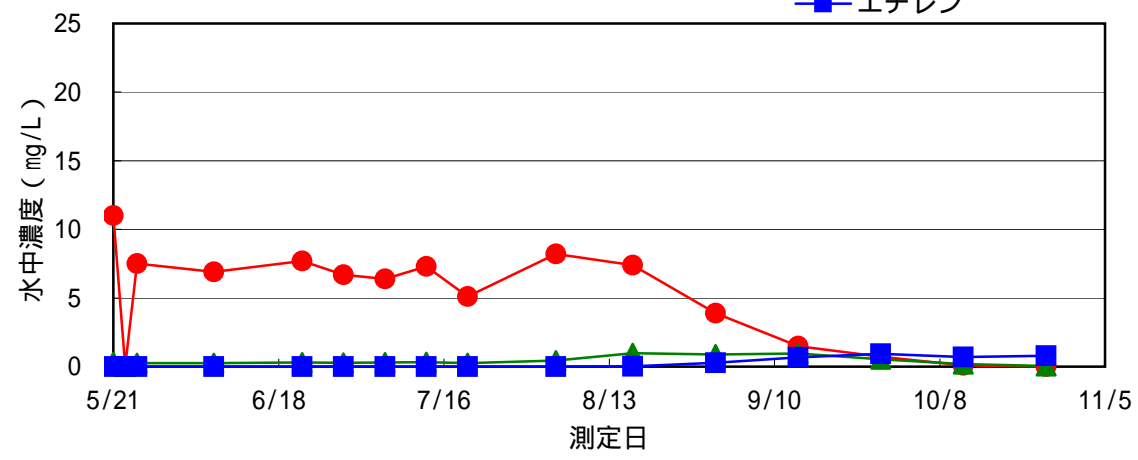
##### 5.4 硫酸イオンの不均質な分布

室内試験用試料採取時に比較して、現地パイロット試験においては、試験領域内で局所的な硫酸イオンの高濃度分布が確認された。

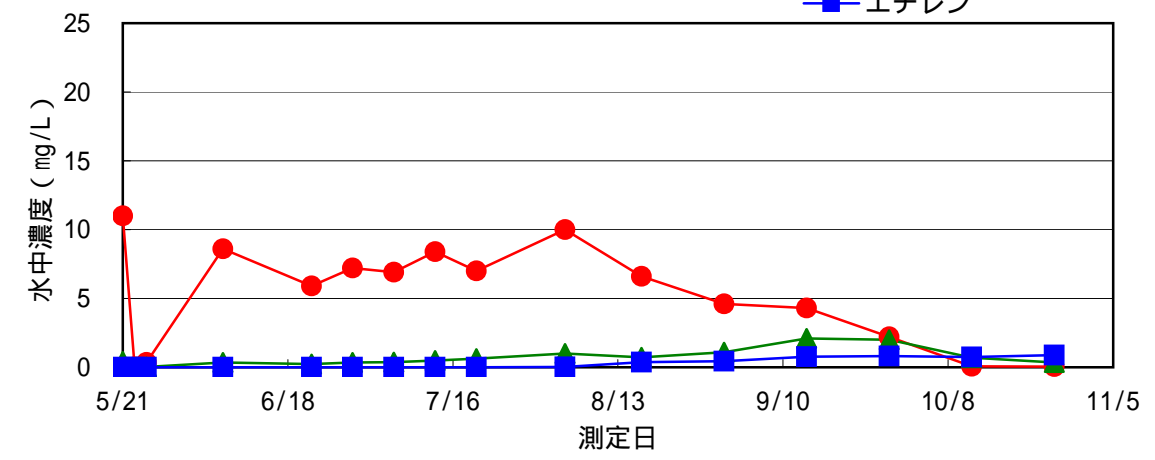
硫酸イオンは、促進剤効果の阻害要因となるため、促進剤の設計単量に影響を及ぼす。

本施工時には、工区ごとの事前把握等を実施し、設計に反映する必要がある。**確認の際には、地下水質測定に加え、盛土由来の硫化物の影響を把握するため、土壌分析等の実施も検討する必要がある。**

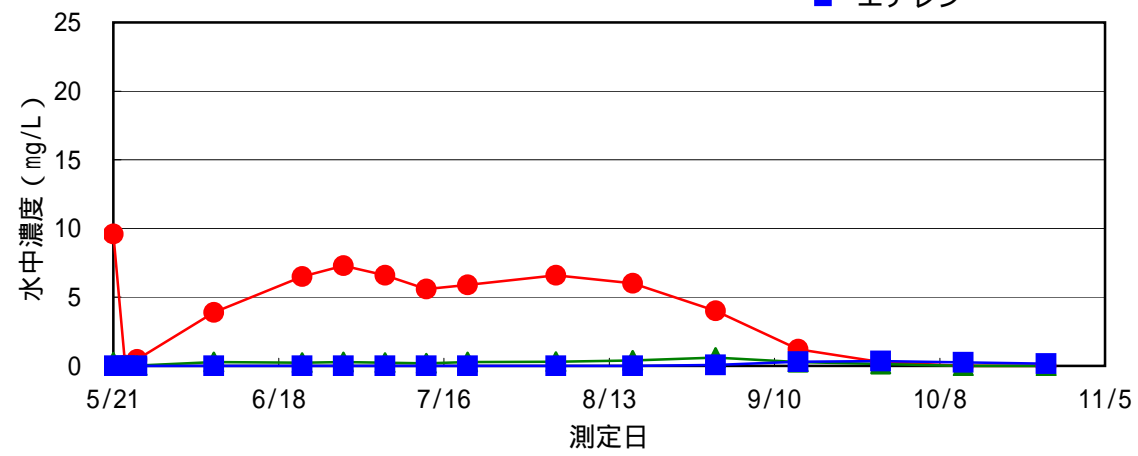
観測井C VOC類水中濃度変動グラフ



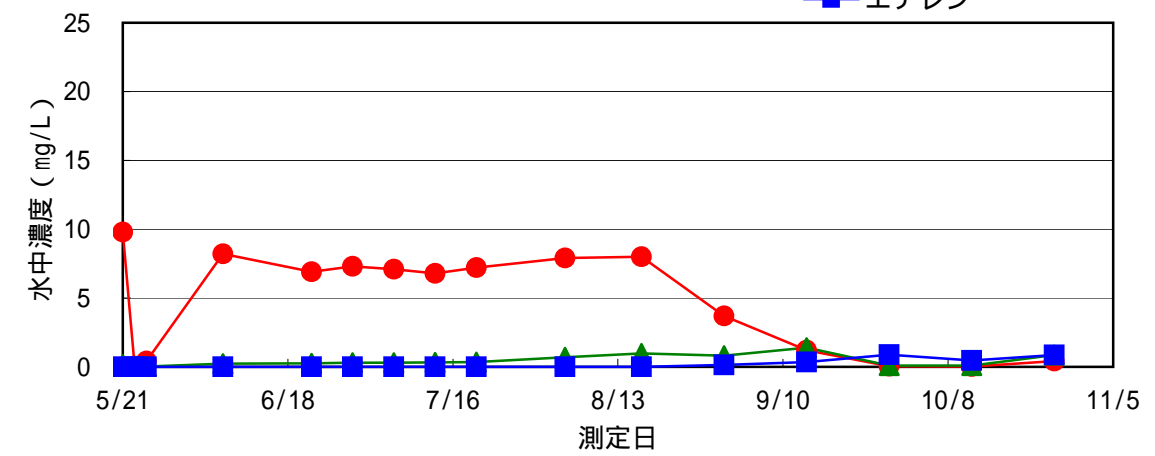
観測井E VOC類水中濃度変動グラフ



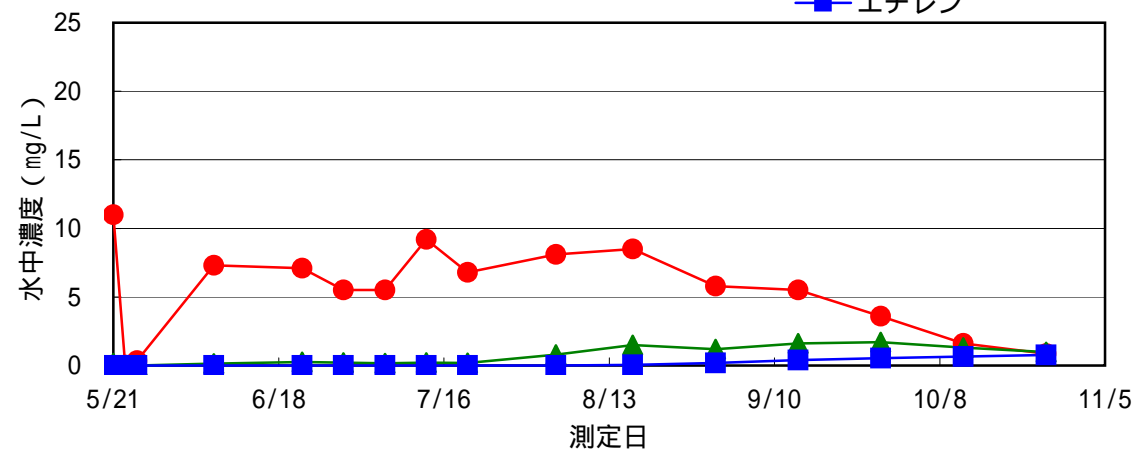
観測井N VOC類水中濃度変動グラフ



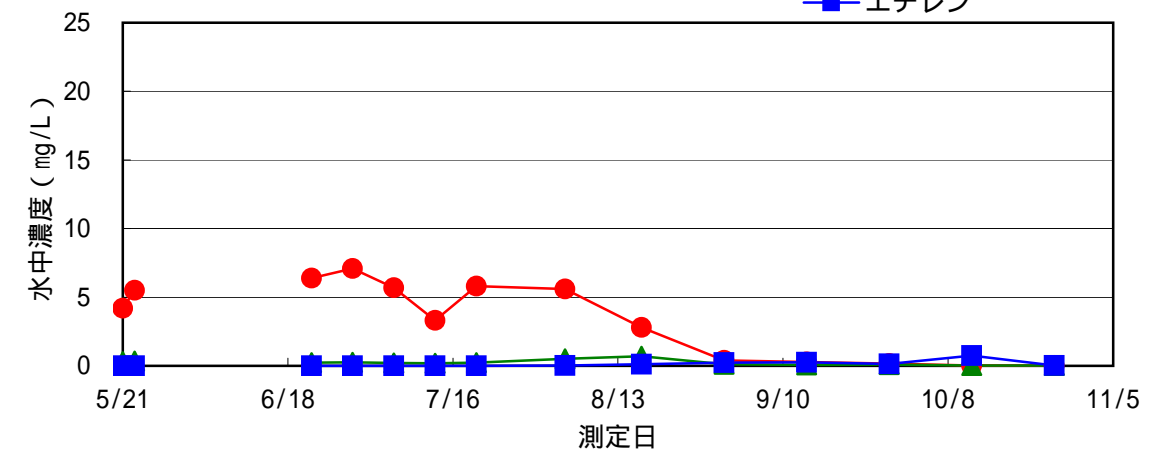
観測井W VOC類水中濃度変動グラフ



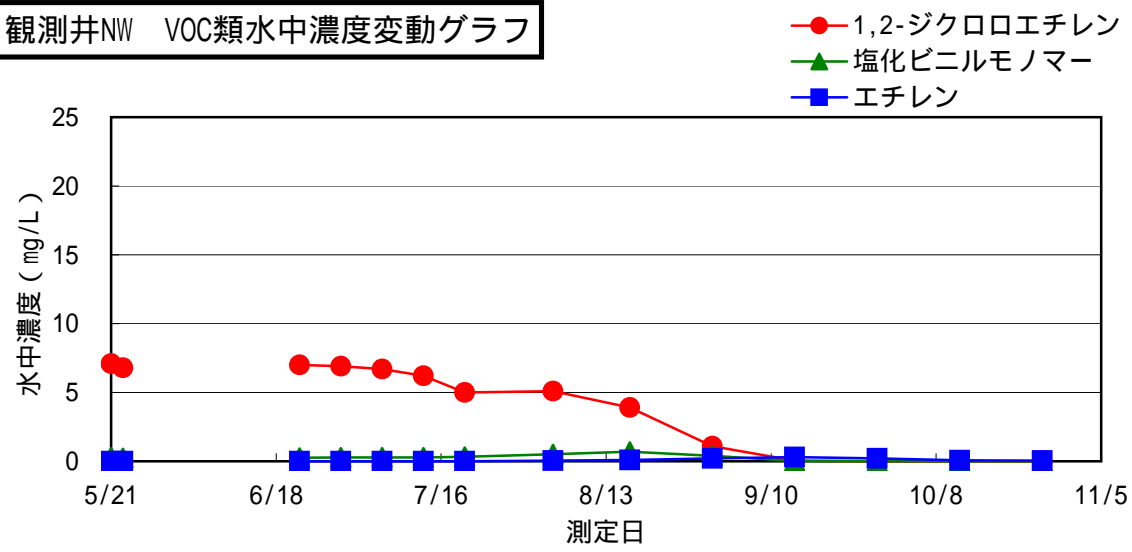
観測井S VOC類水中濃度変動グラフ



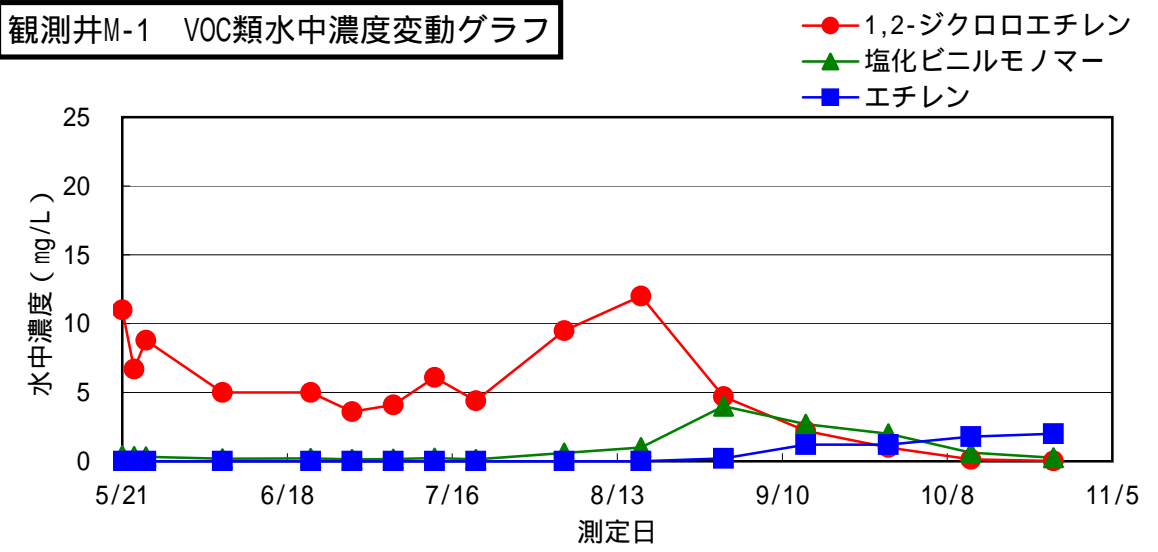
観測井NE VOC類水中濃度変動グラフ



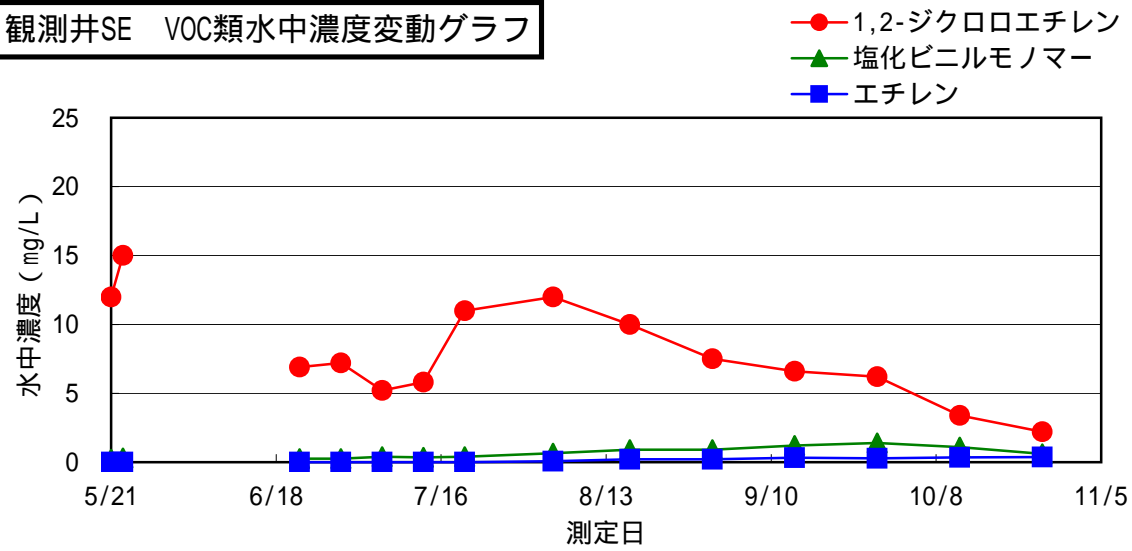
観測井NW VOC類水中濃度変動グラフ



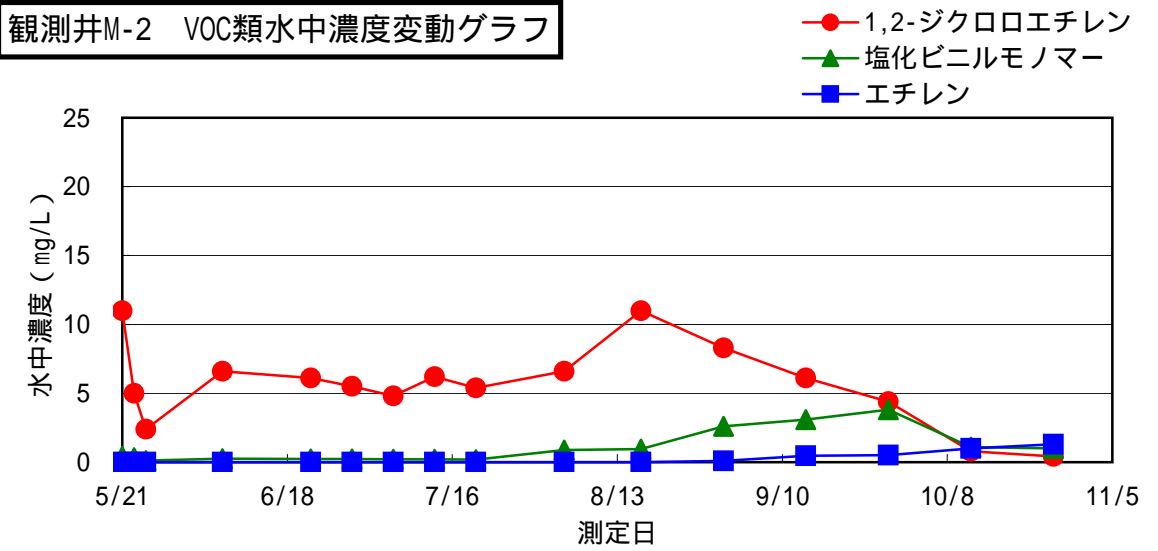
観測井M-1 VOC類水中濃度変動グラフ



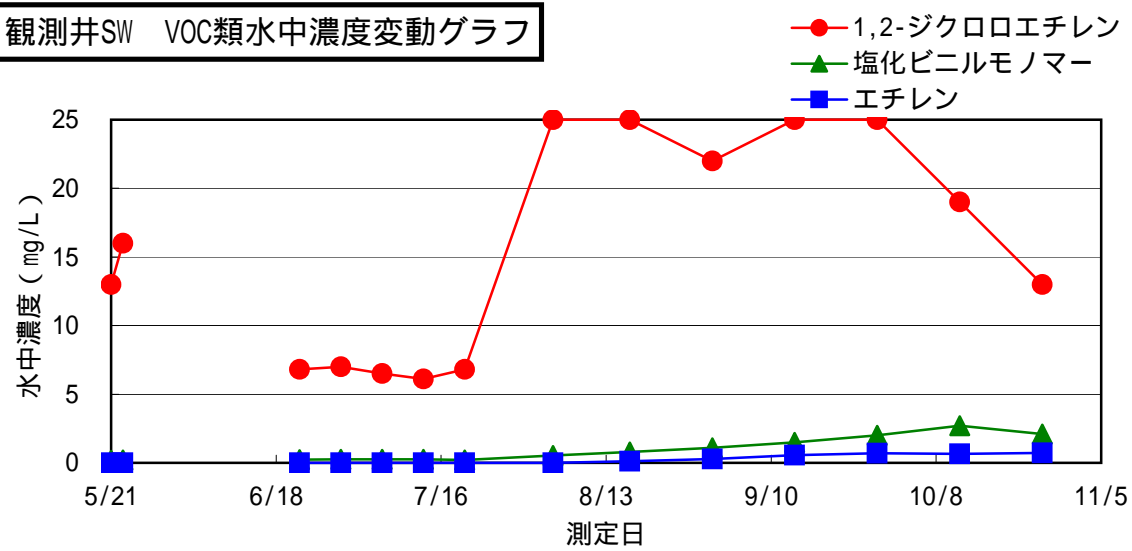
観測井SE VOC類水中濃度変動グラフ



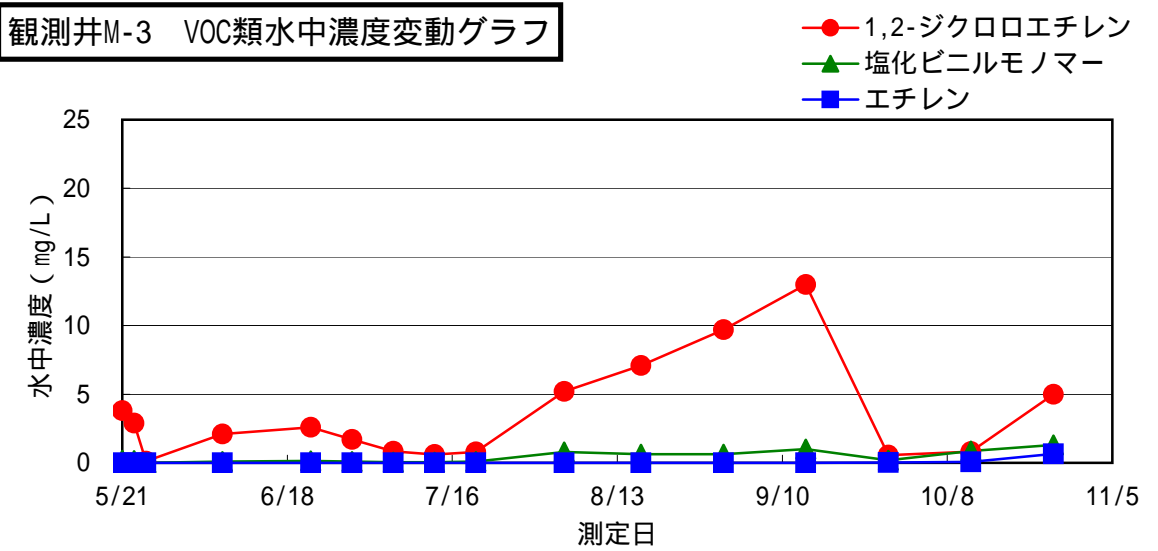
観測井M-2 VOC類水中濃度変動グラフ



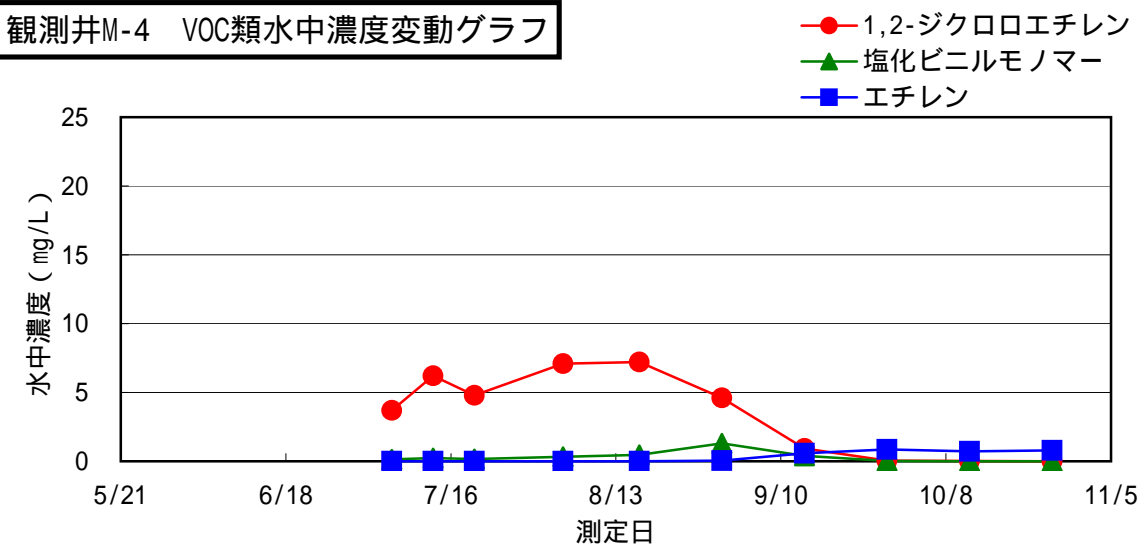
観測井SW VOC類水中濃度変動グラフ



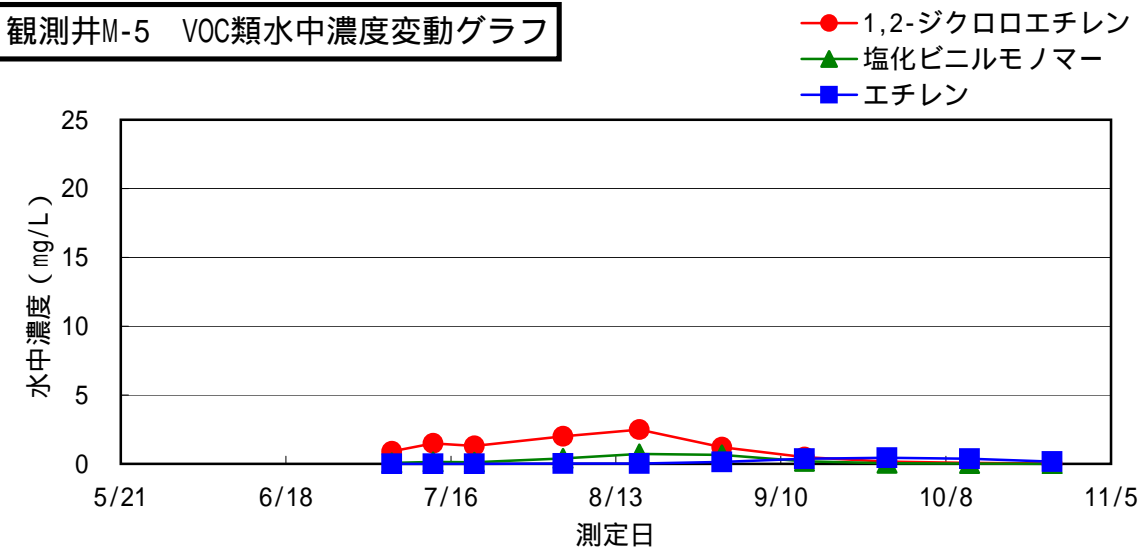
観測井M-3 VOC類水中濃度変動グラフ



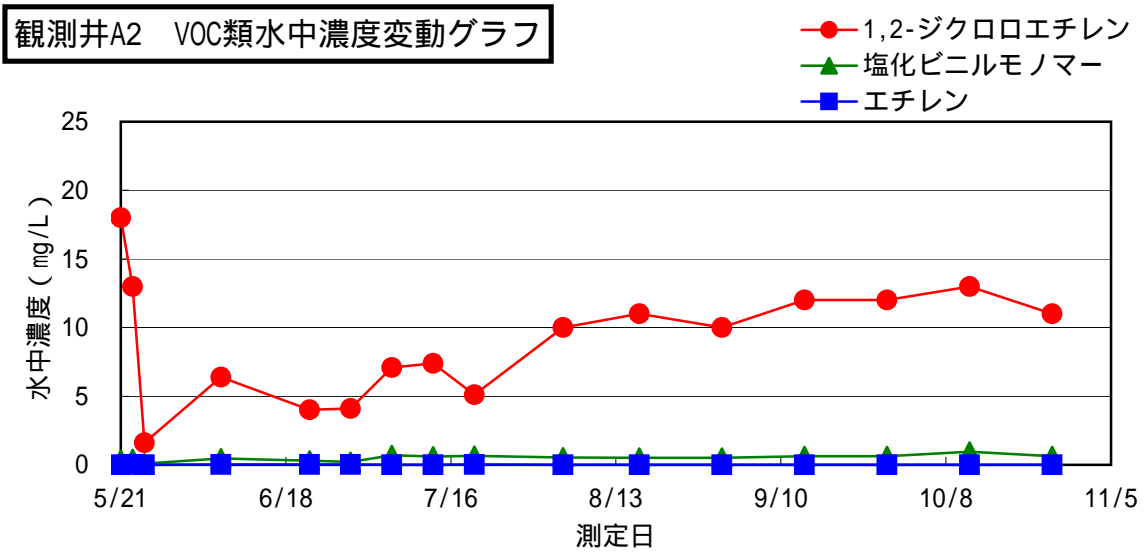
観測井M-4 VOC類水中濃度変動グラフ



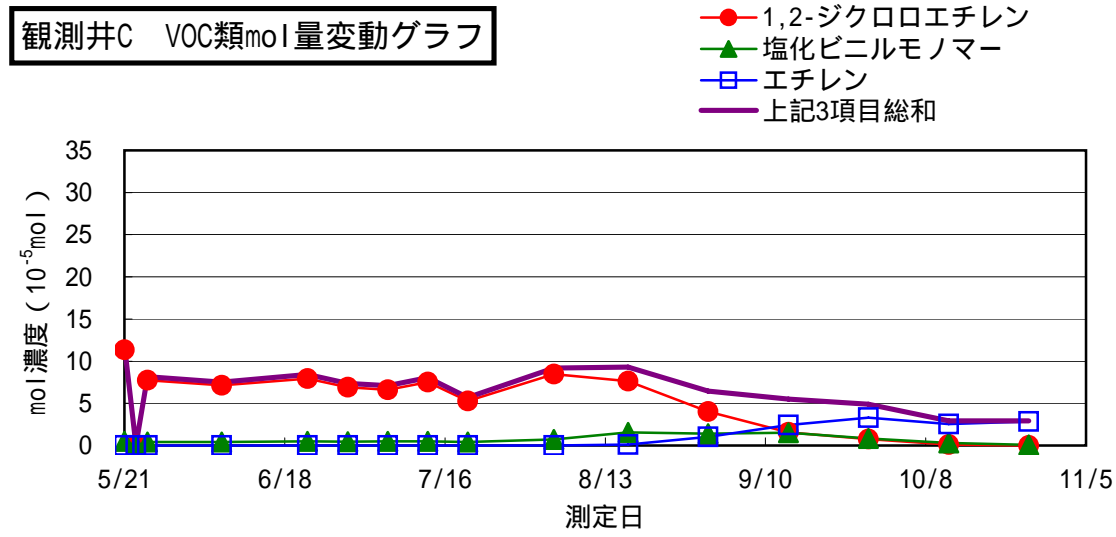
観測井M-5 VOC類水中濃度変動グラフ



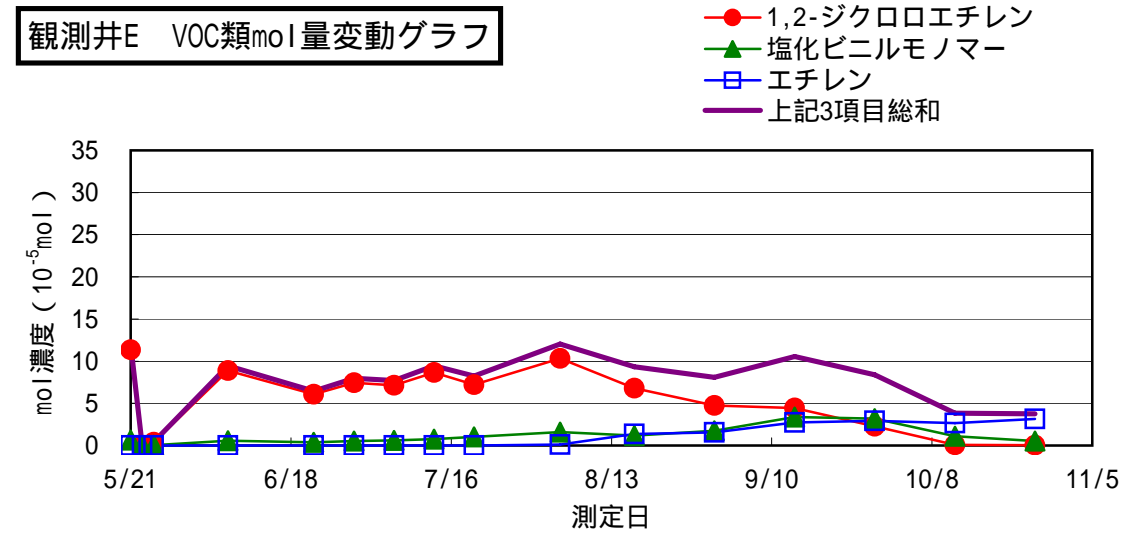
観測井A2 VOC類水中濃度変動グラフ



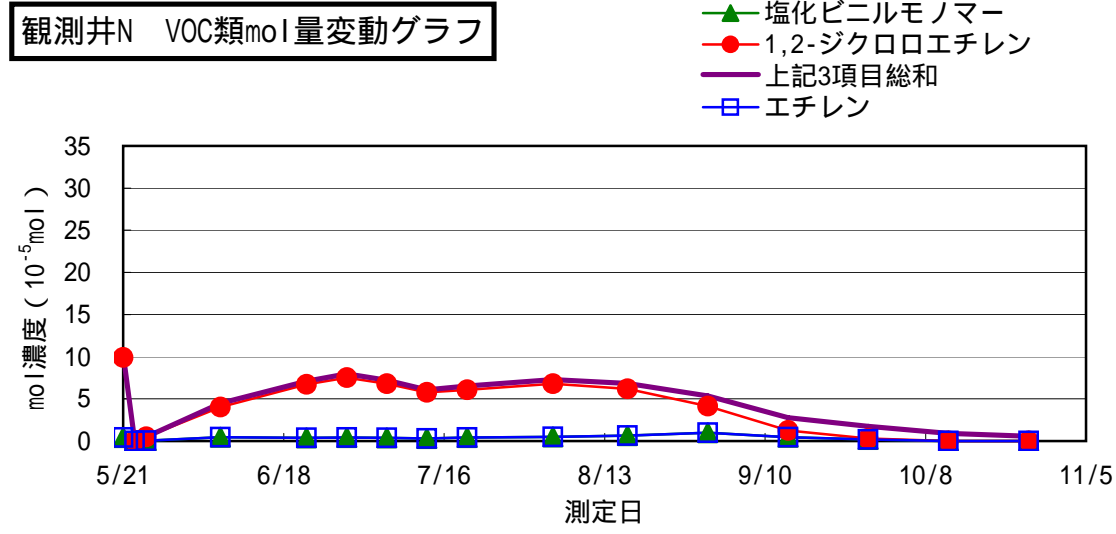
観測井C VOC類mol量変動グラフ



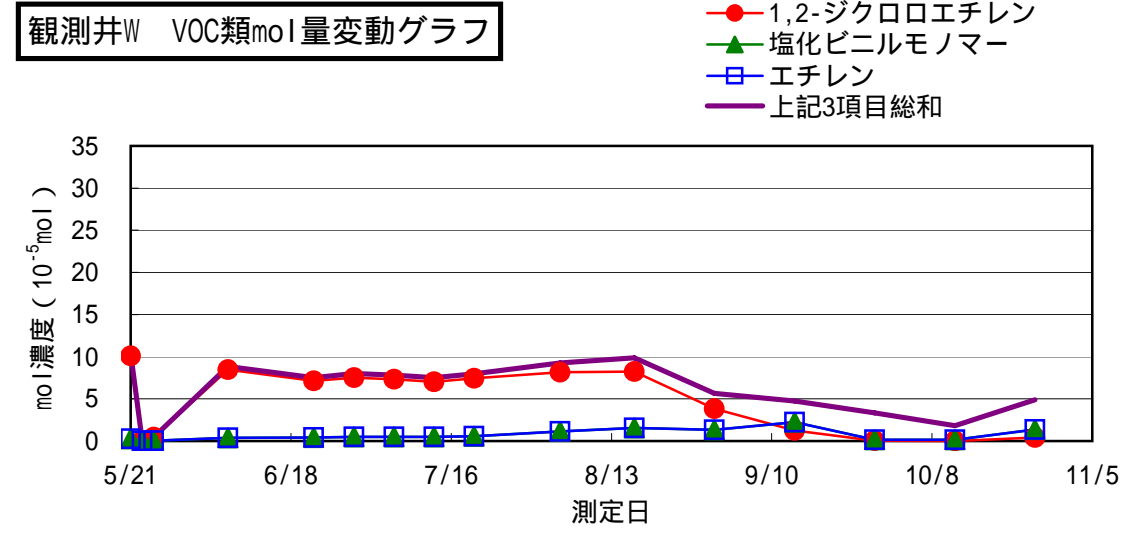
観測井E VOC類mol量変動グラフ



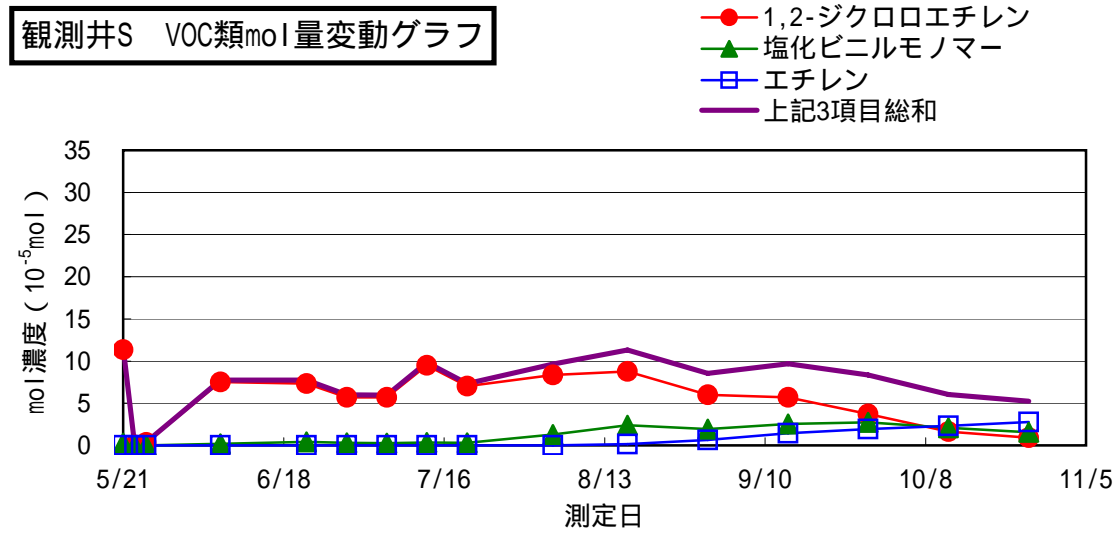
観測井N VOC類mol量変動グラフ



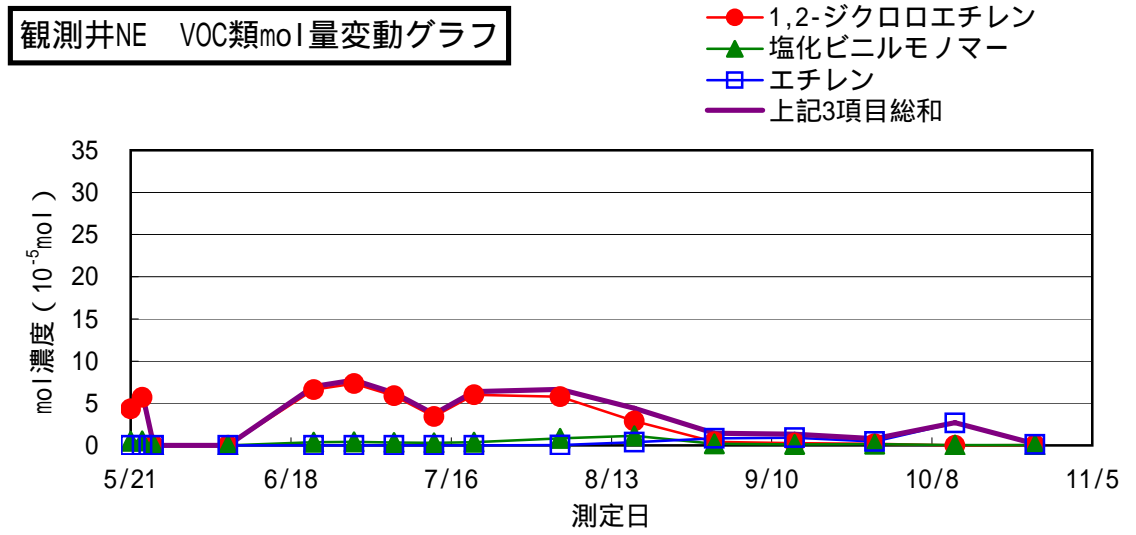
観測井W VOC類mol量変動グラフ



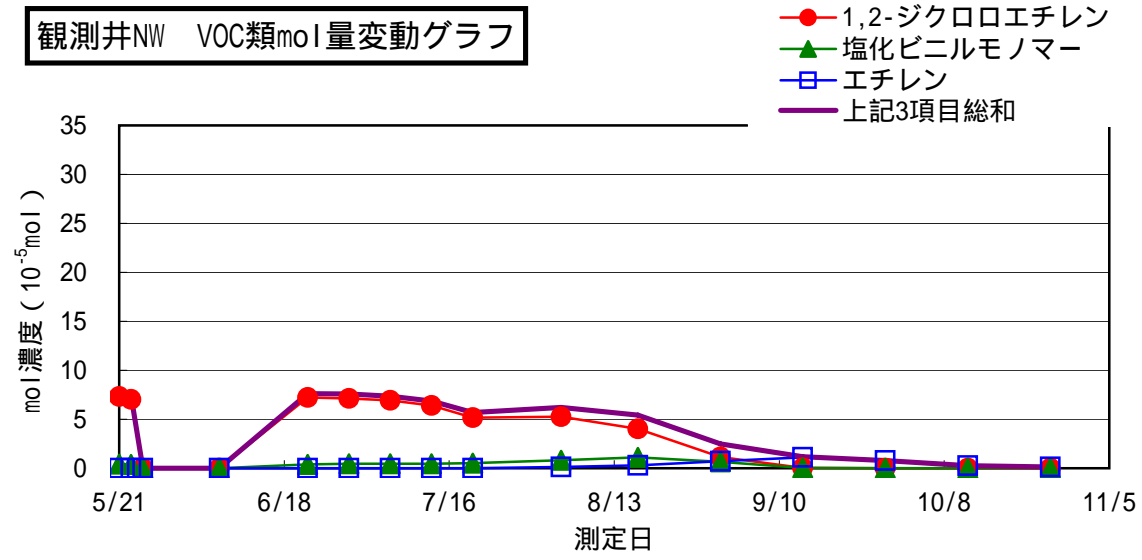
観測井S VOC類mol量変動グラフ



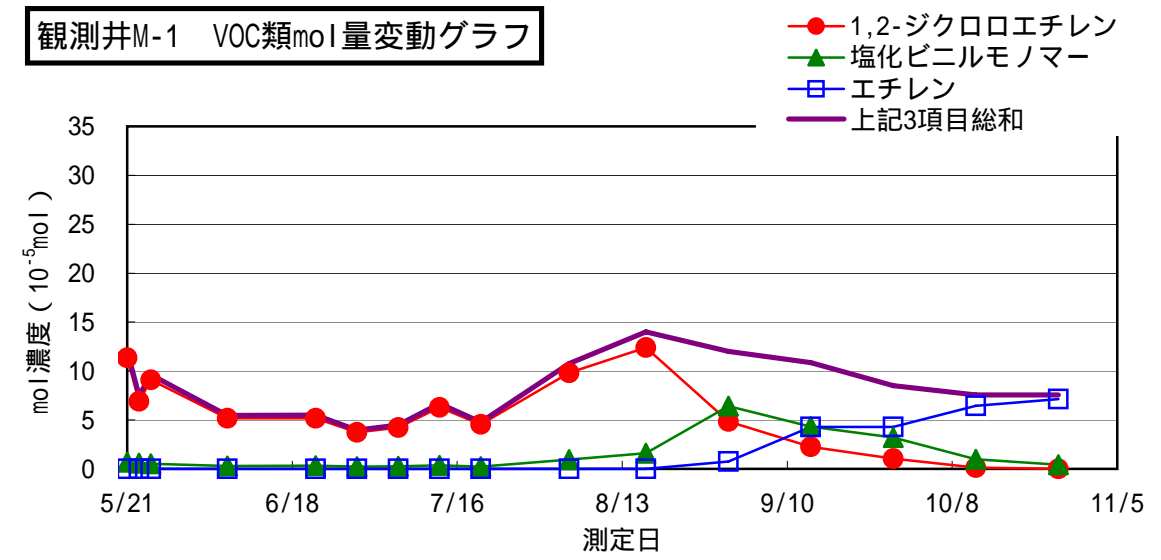
観測井NE VOC類mol量変動グラフ



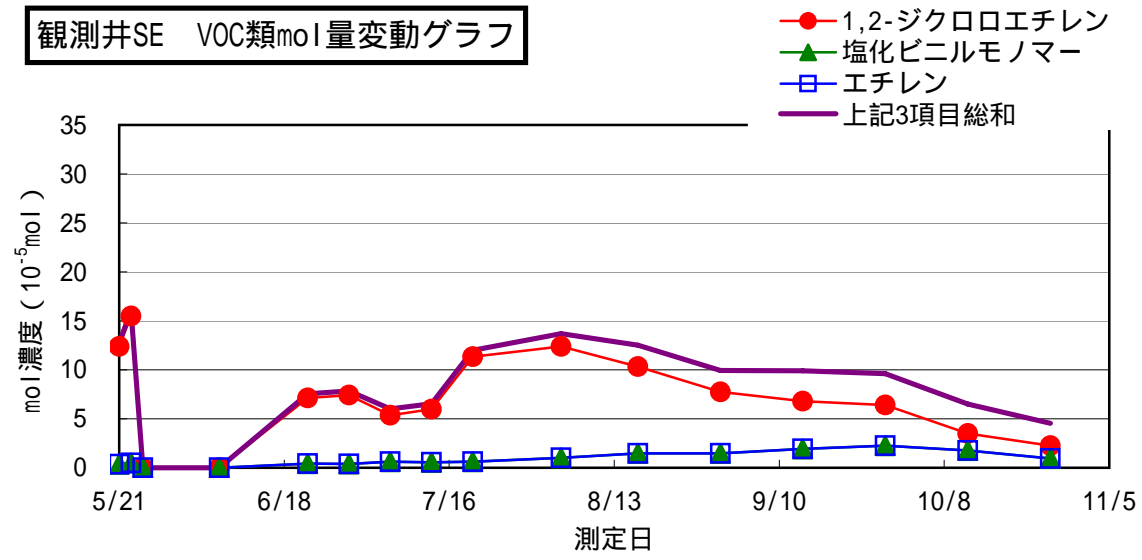
観測井NW VOC類mol量変動グラフ



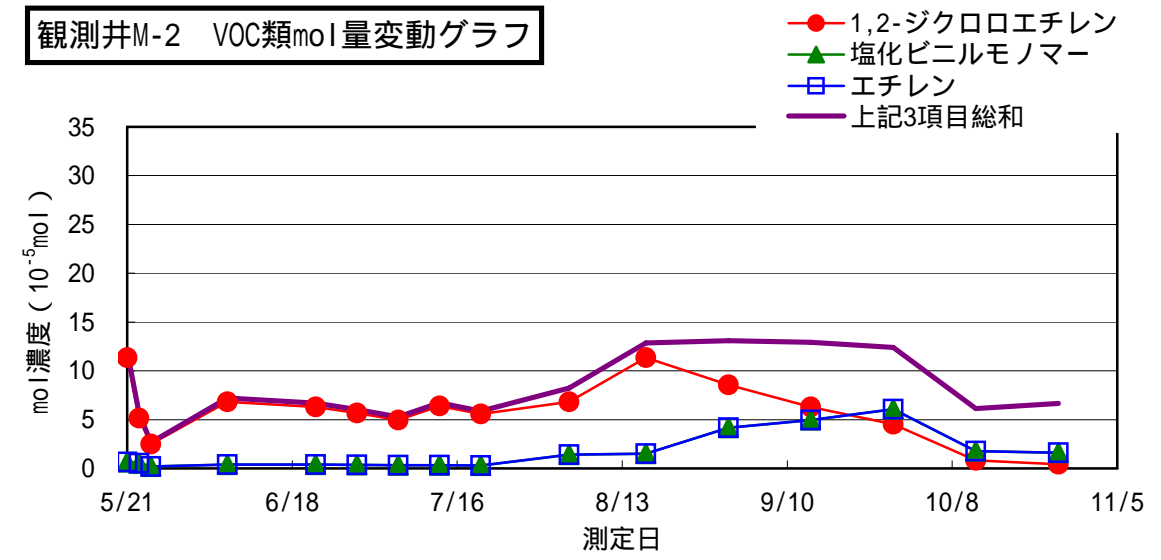
観測井M-1 VOC類mol量変動グラフ



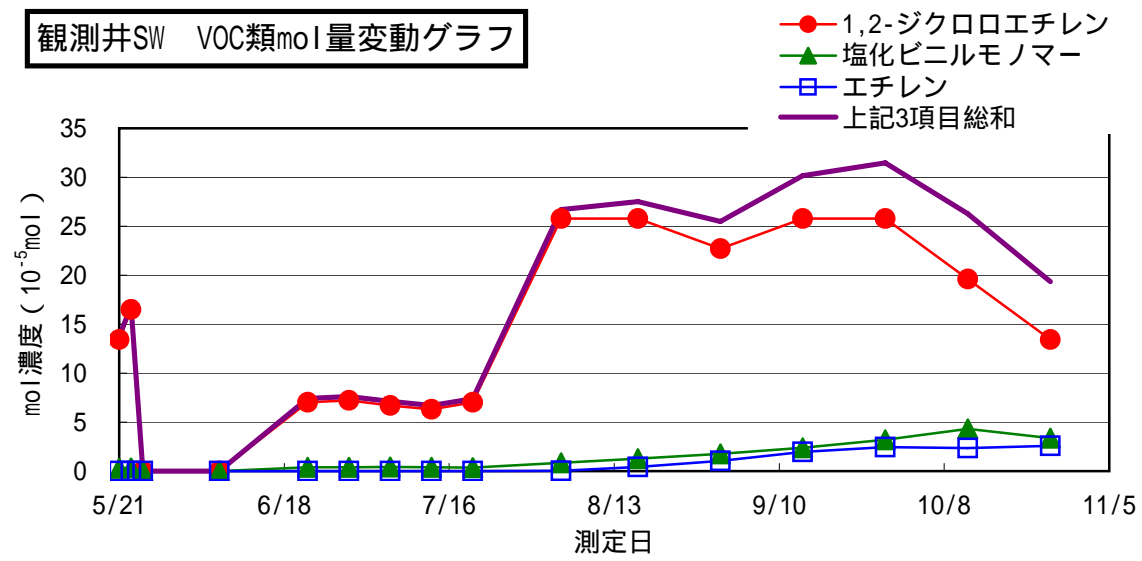
観測井SE VOC類mol量変動グラフ



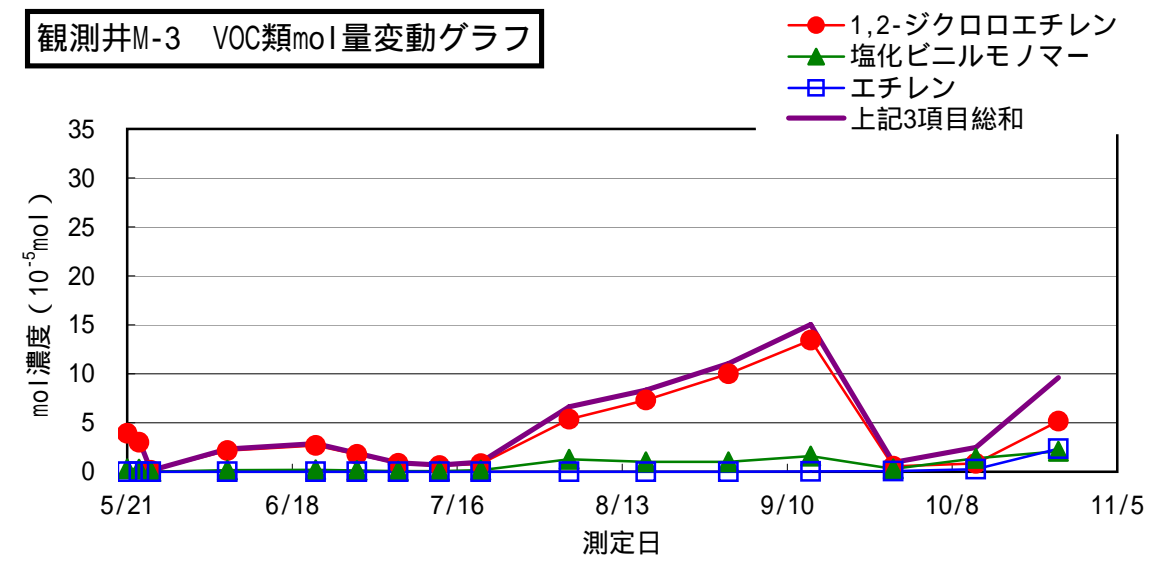
観測井M-2 VOC類mol量変動グラフ



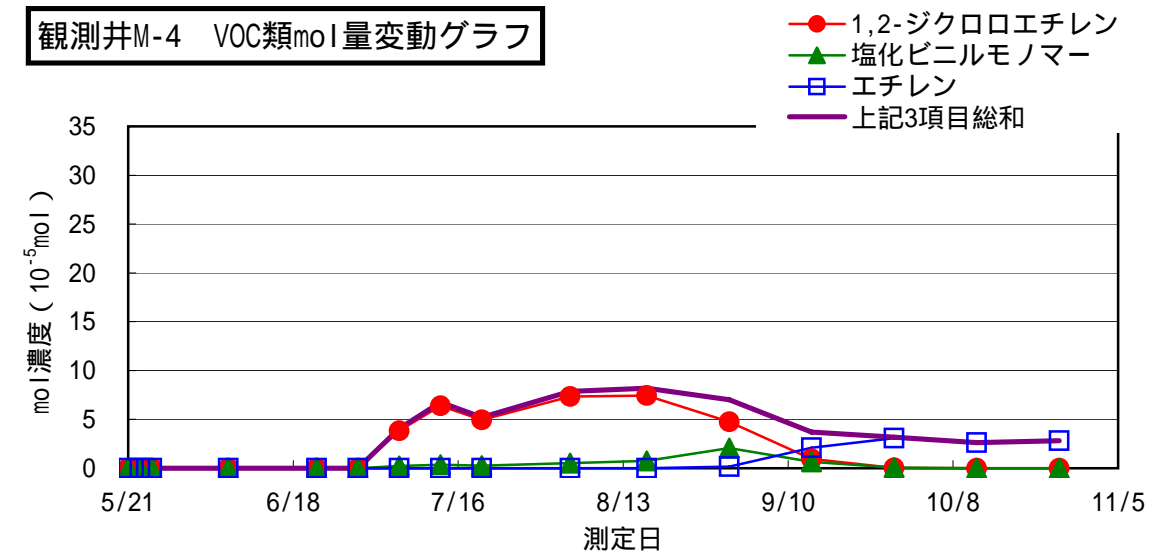
観測井SW VOC類mol量変動グラフ



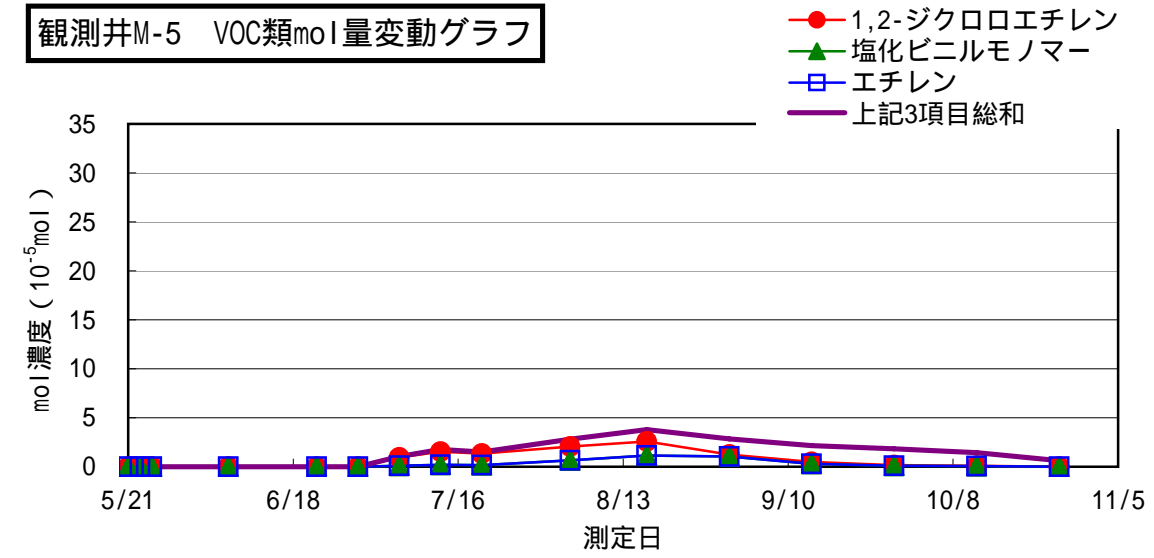
観測井M-3 VOC類mol量変動グラフ



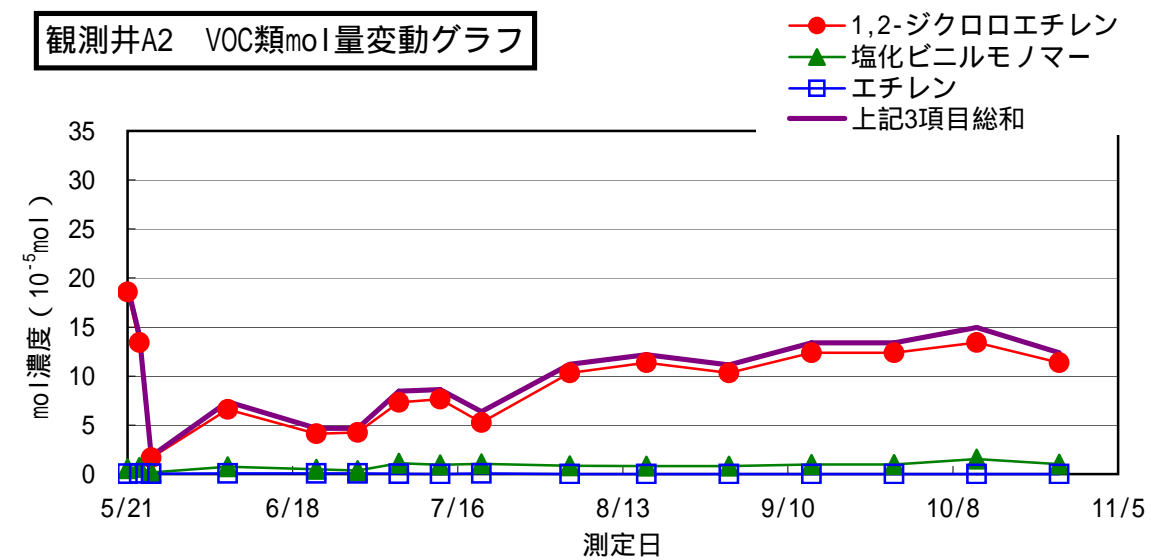
観測井M-4 VOC類mol量変動グラフ



観測井M-5 VOC類mol量変動グラフ

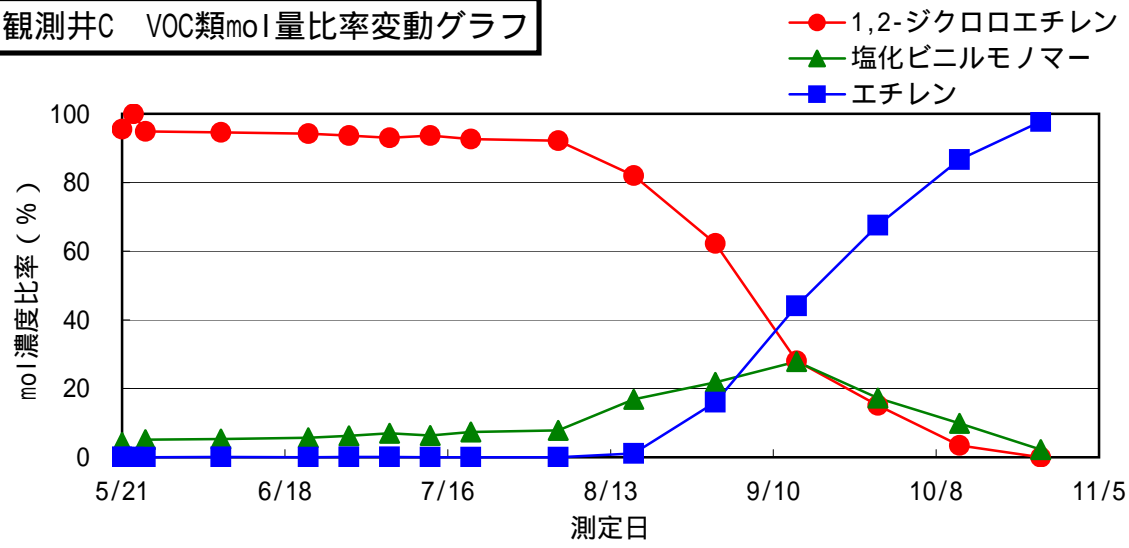


観測井A2 VOC類mol量変動グラフ

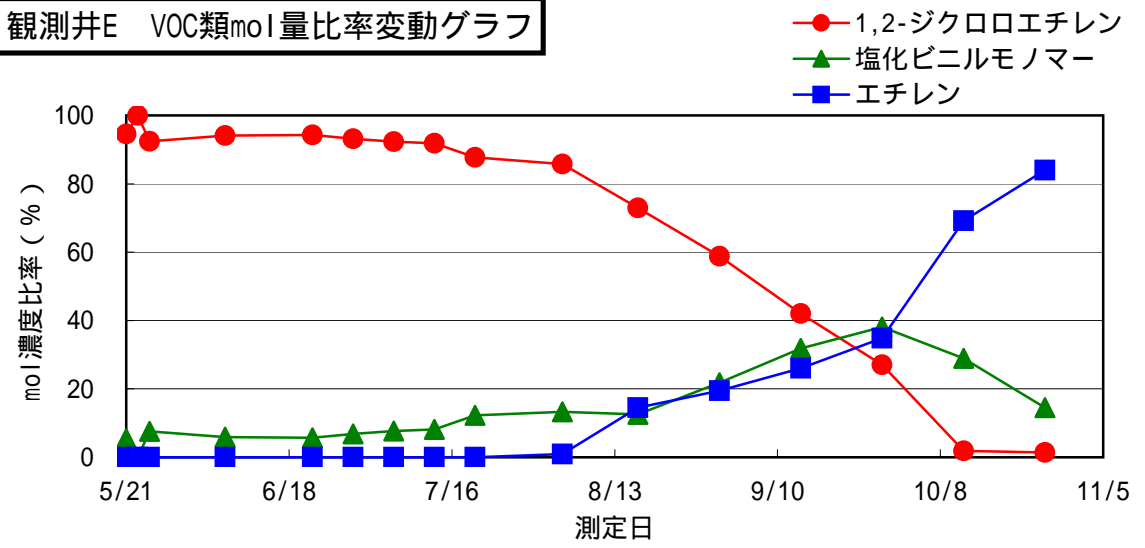




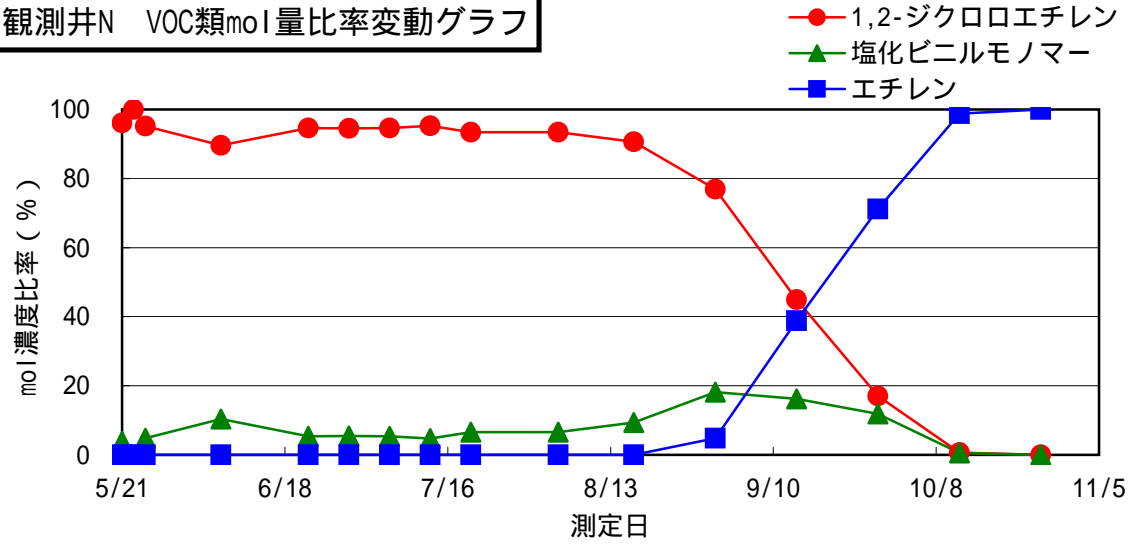
観測井C VOC類mol量比率変動グラフ



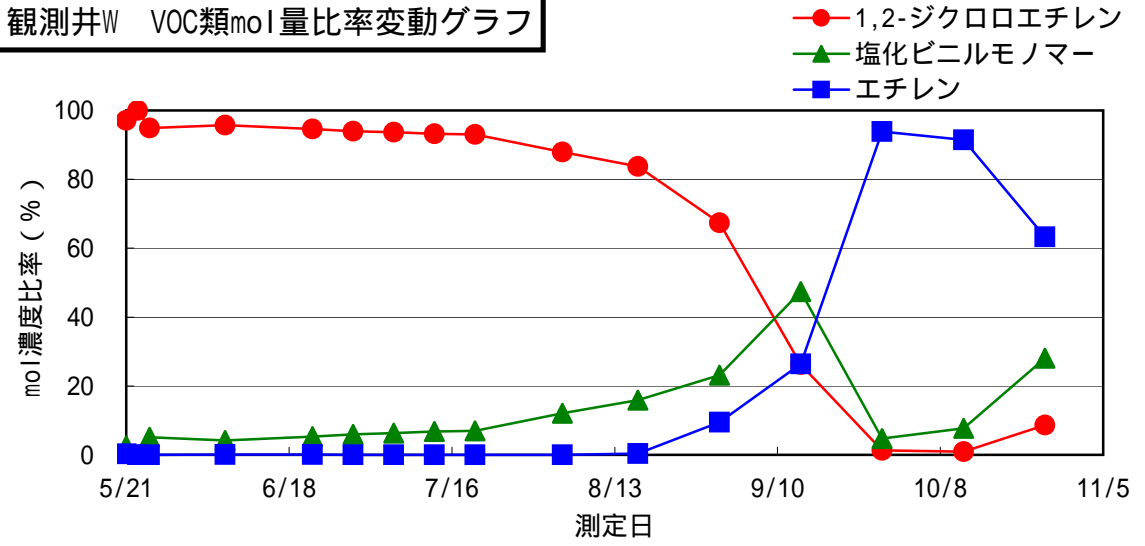
観測井E VOC類mol量比率変動グラフ



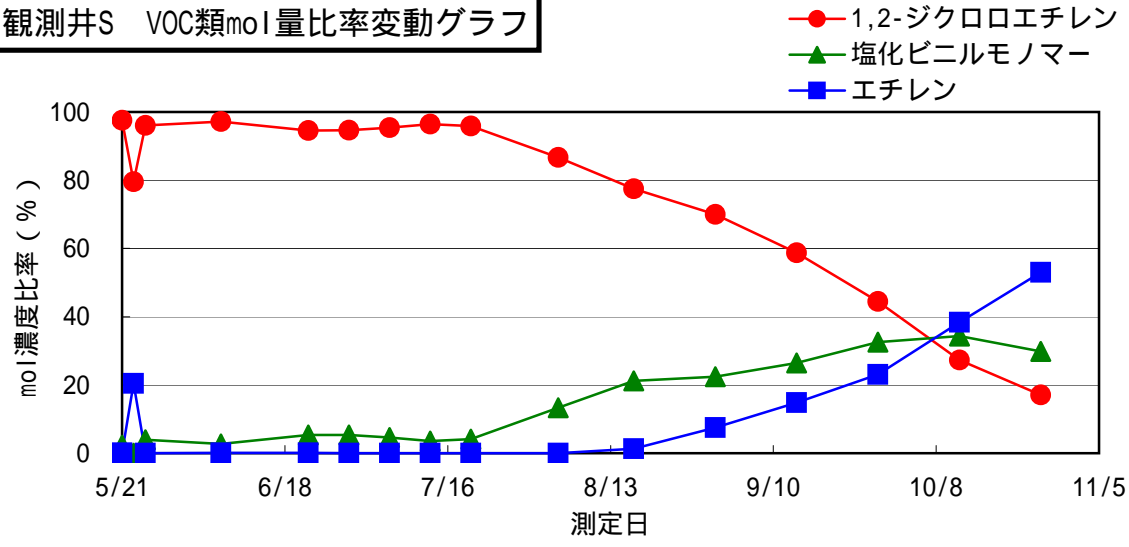
観測井N VOC類mol量比率変動グラフ



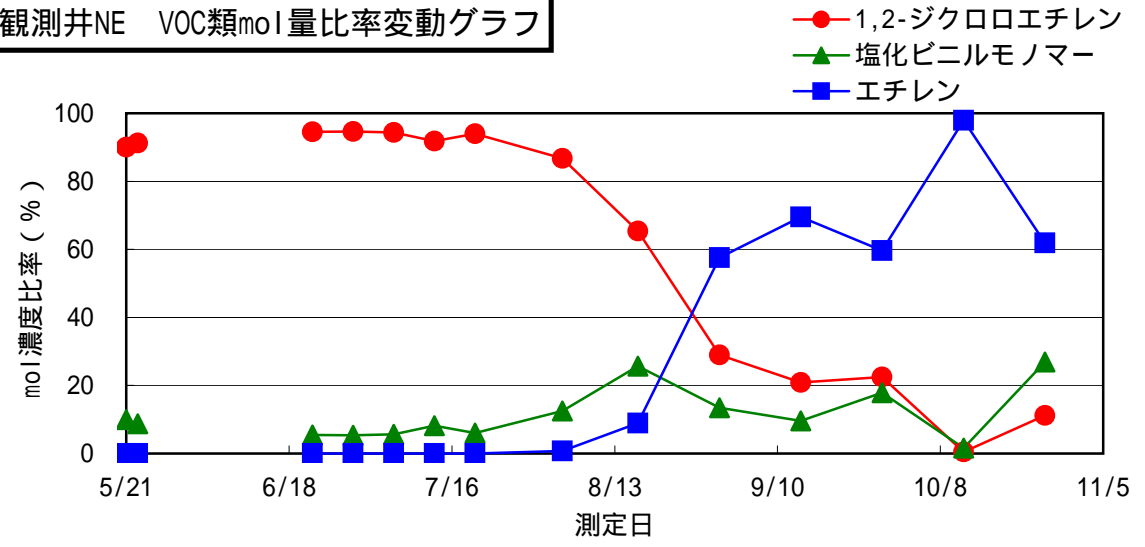
観測井W VOC類mol量比率変動グラフ



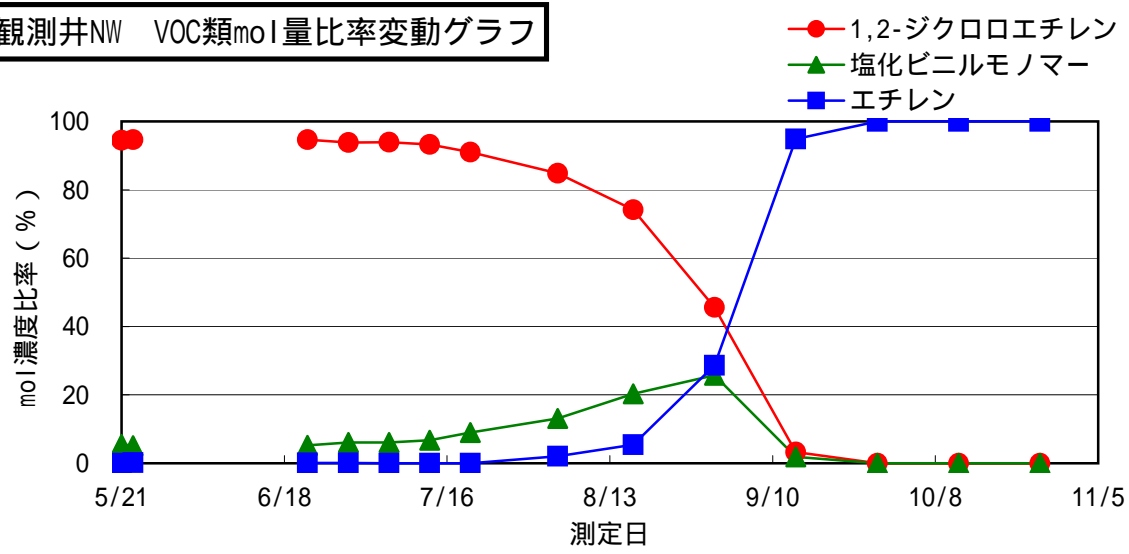
観測井S VOC類mol量比率変動グラフ



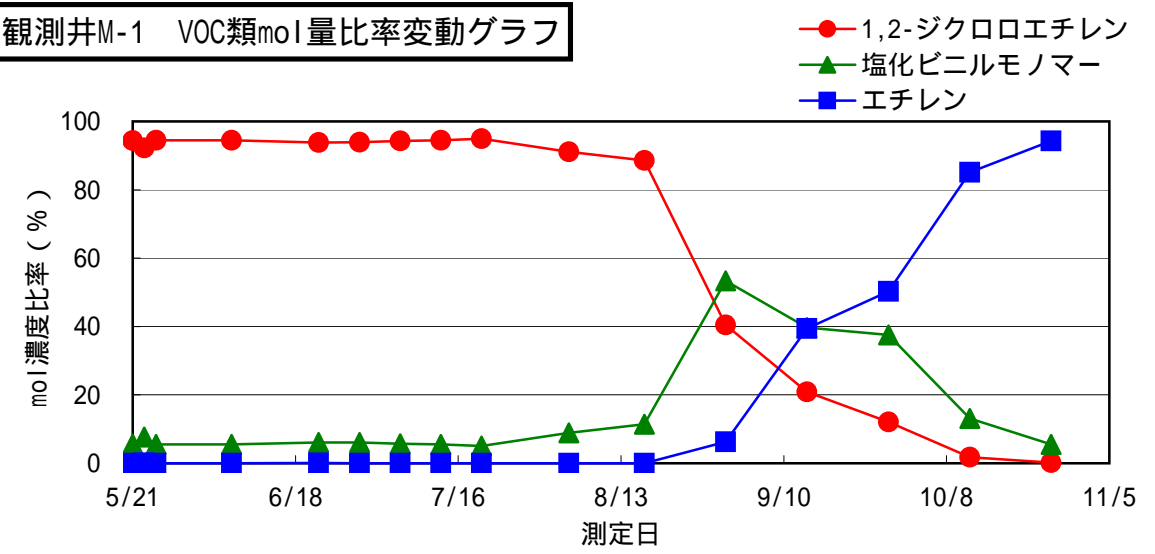
観測井NE VOC類mol量比率変動グラフ



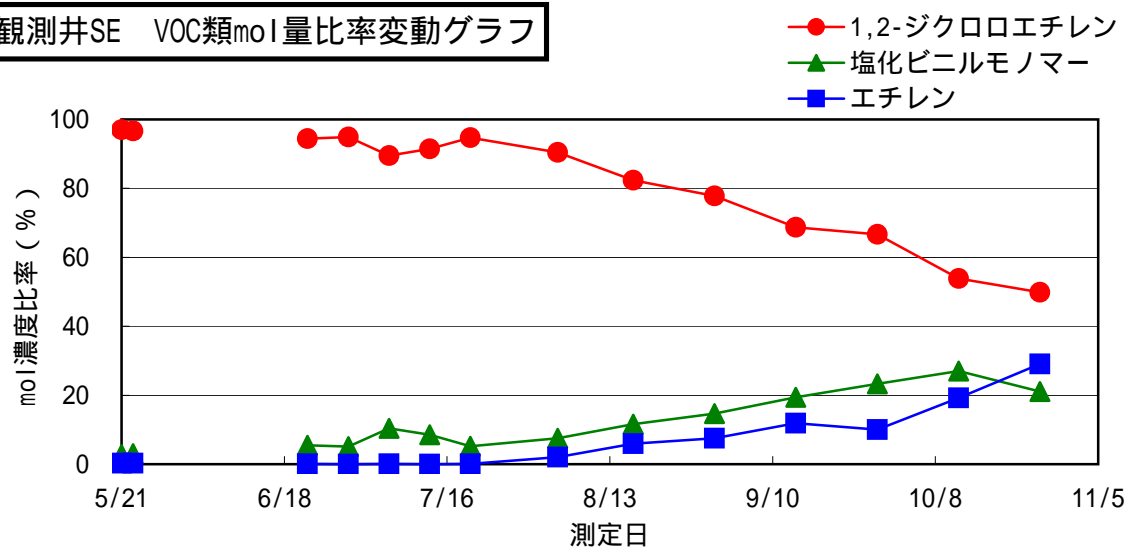
観測井NW VOC類mol量比率変動グラフ



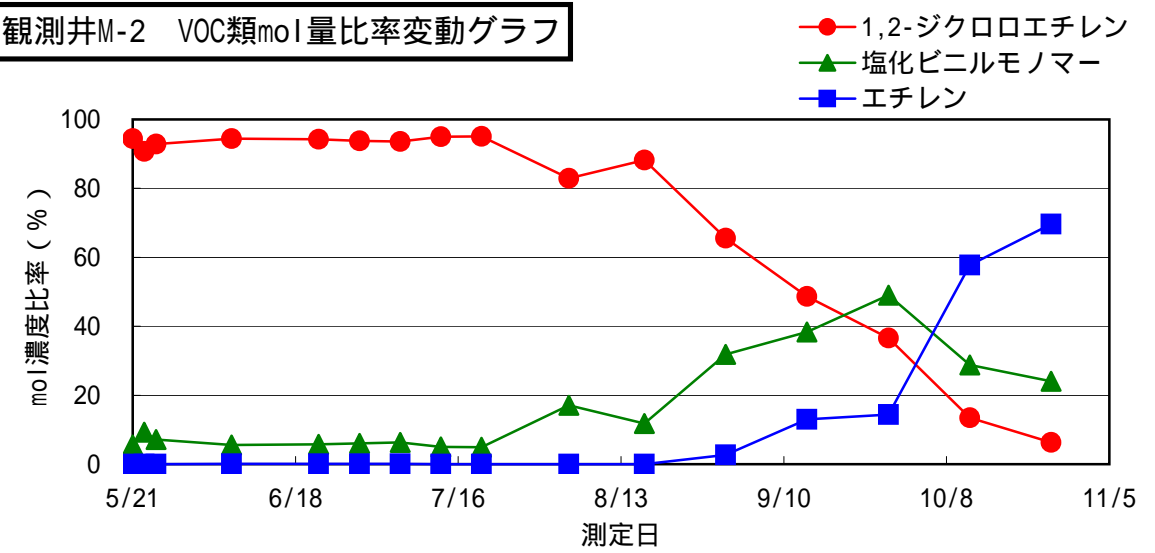
観測井M-1 VOC類mol量比率変動グラフ



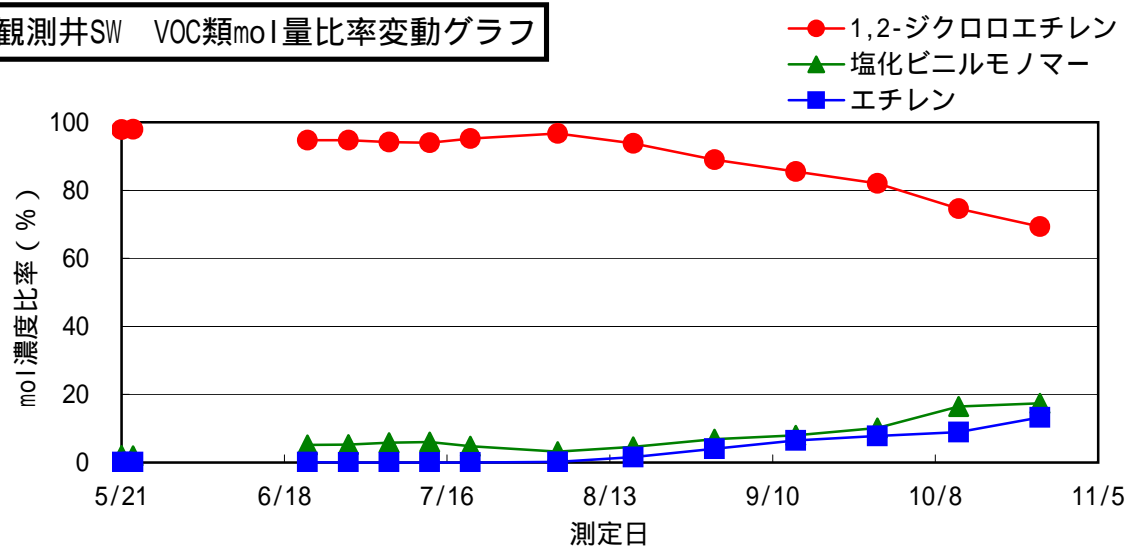
観測井SE VOC類mol量比率変動グラフ



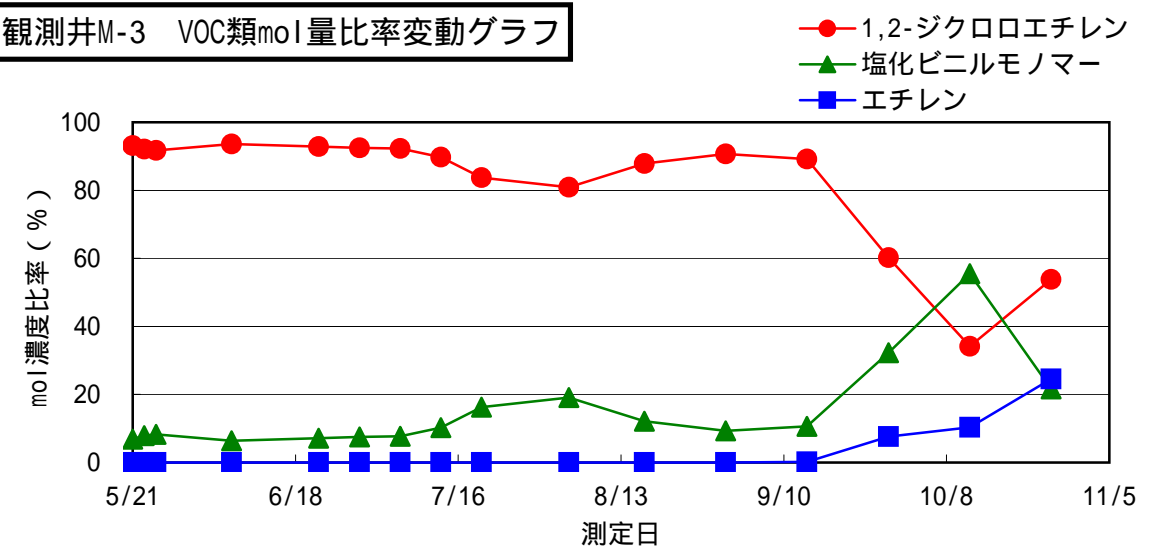
観測井M-2 VOC類mol量比率変動グラフ



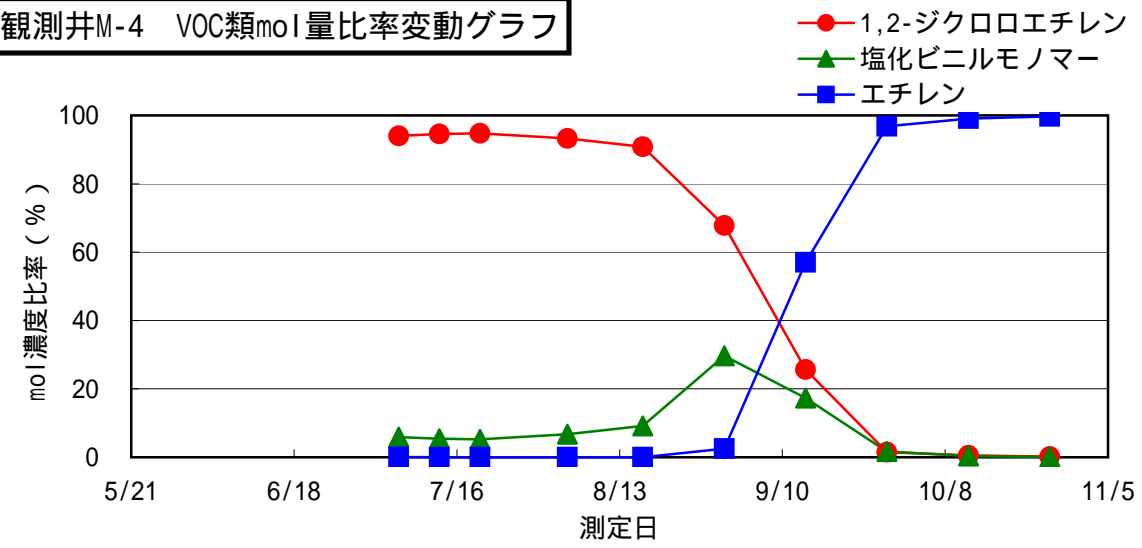
観測井SW VOC類mol量比率変動グラフ



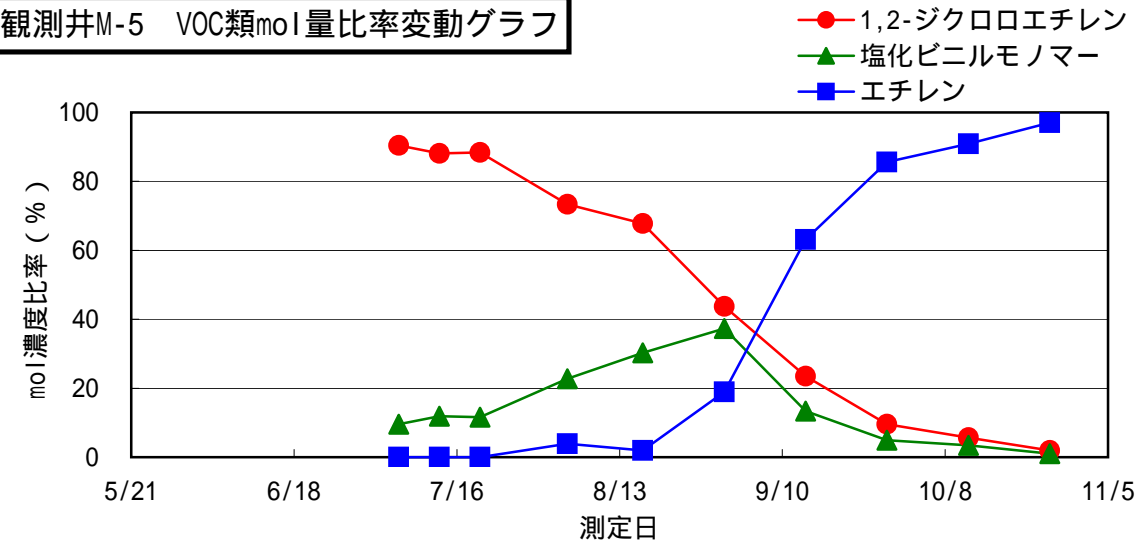
観測井M-3 VOC類mol量比率変動グラフ



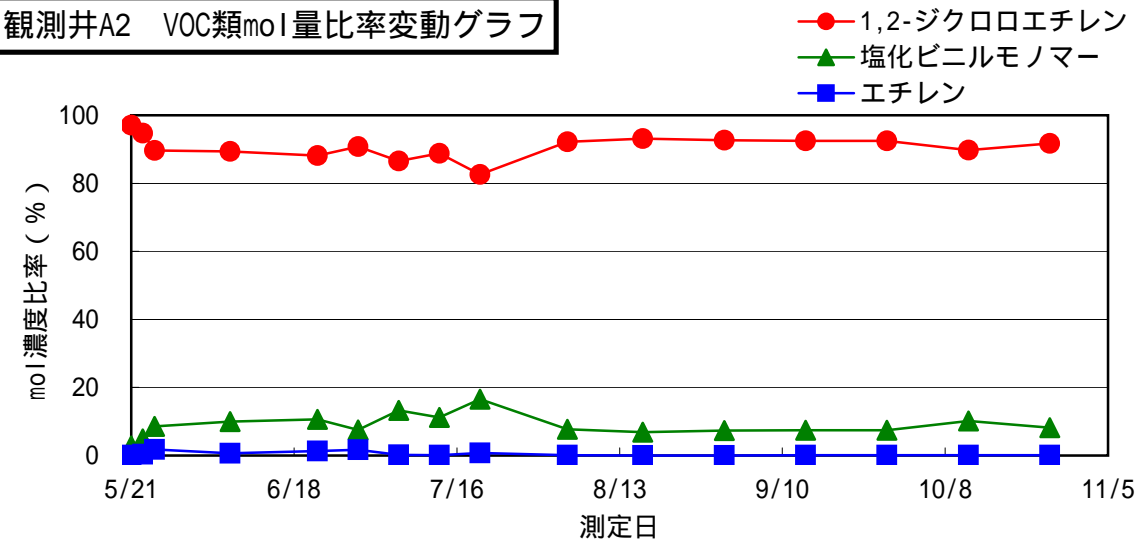
観測井M-4 VOC類mol量比率変動グラフ

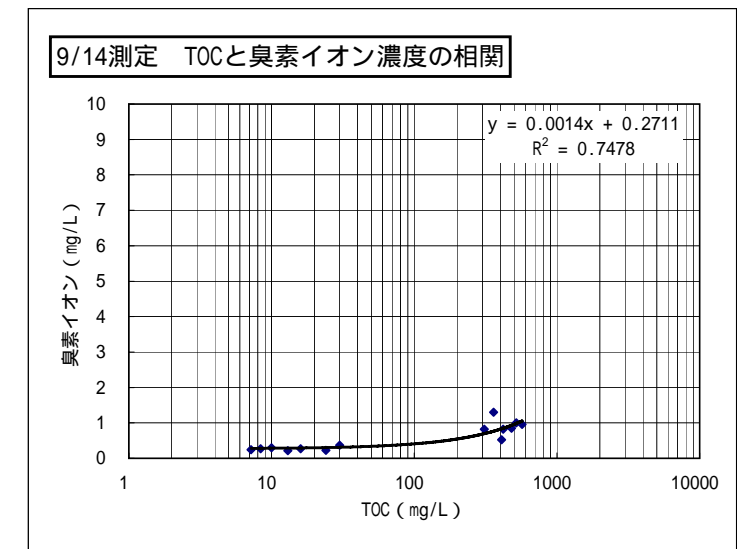
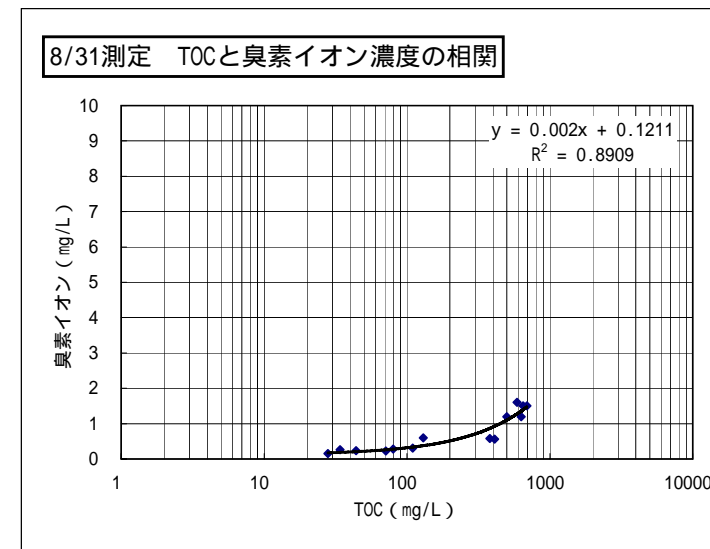
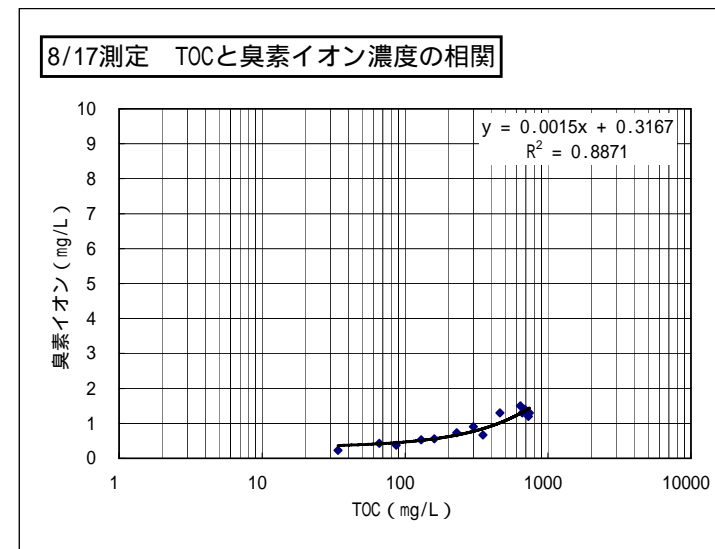
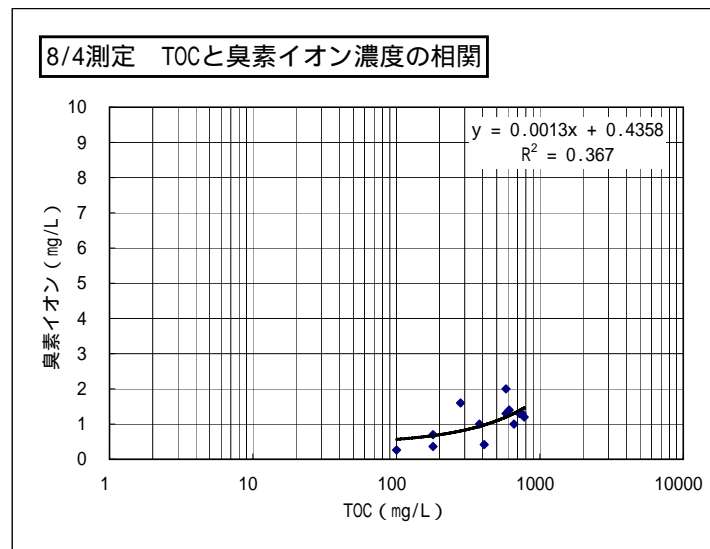
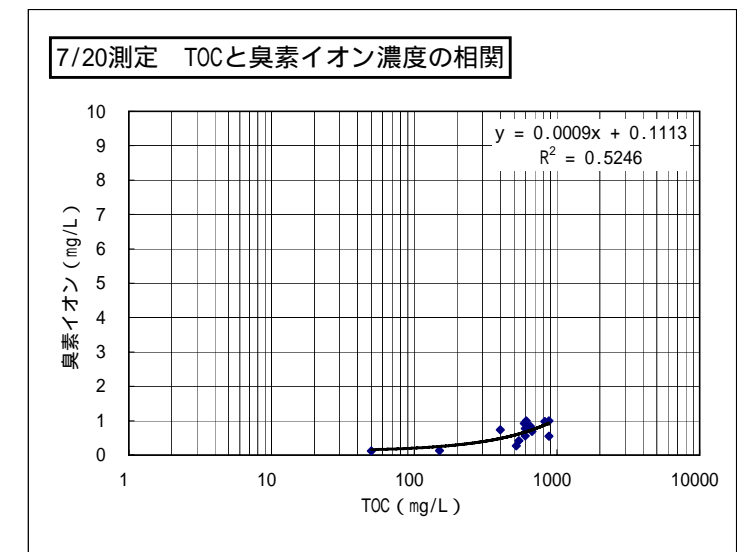
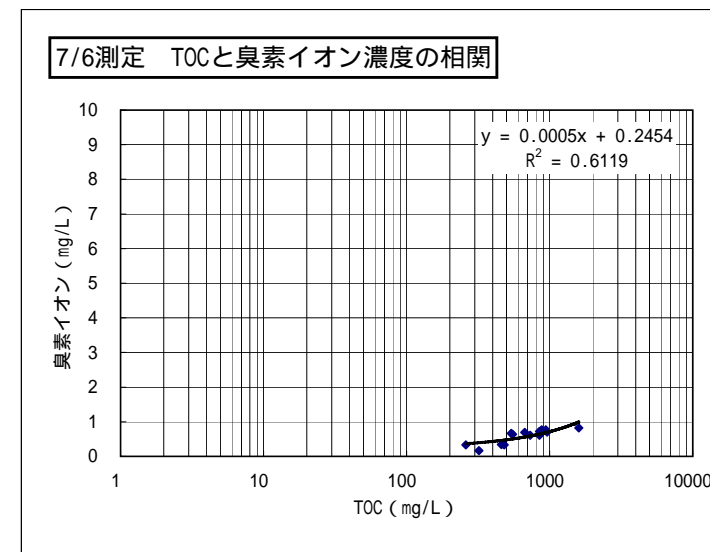
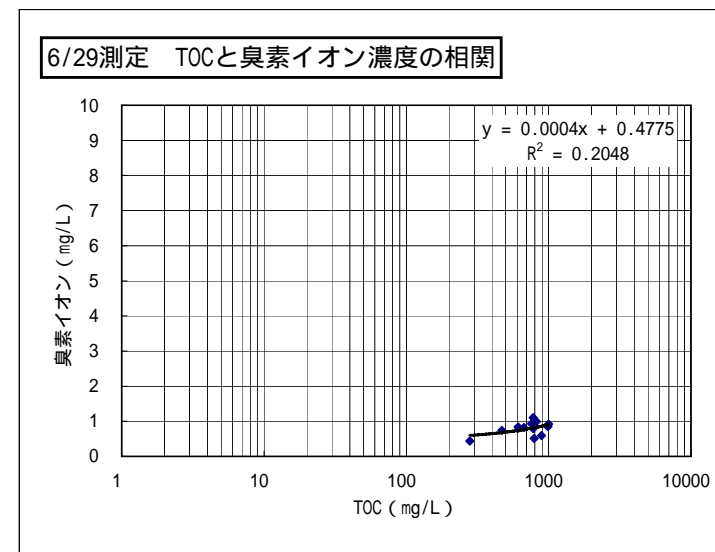
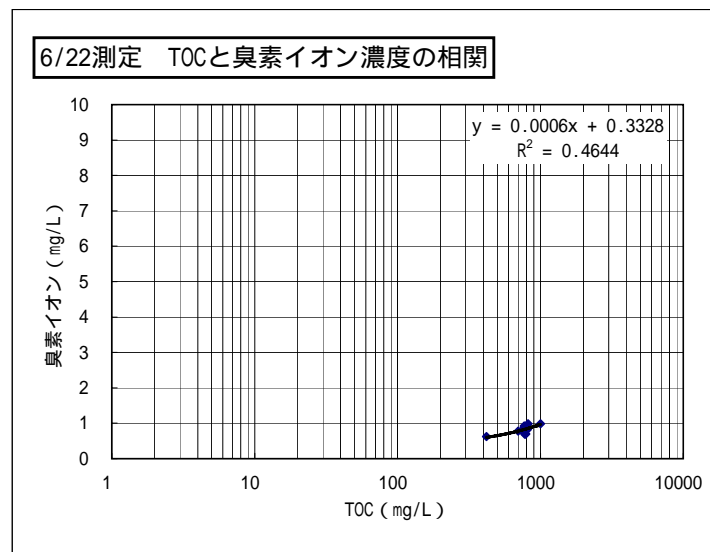
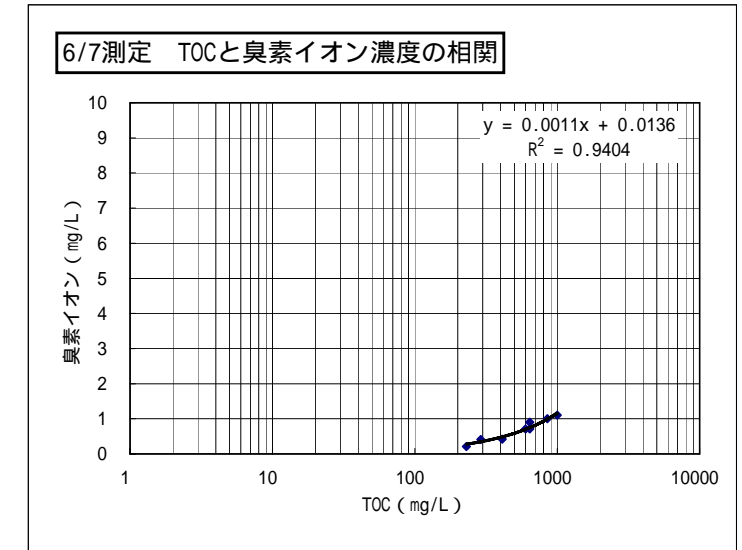
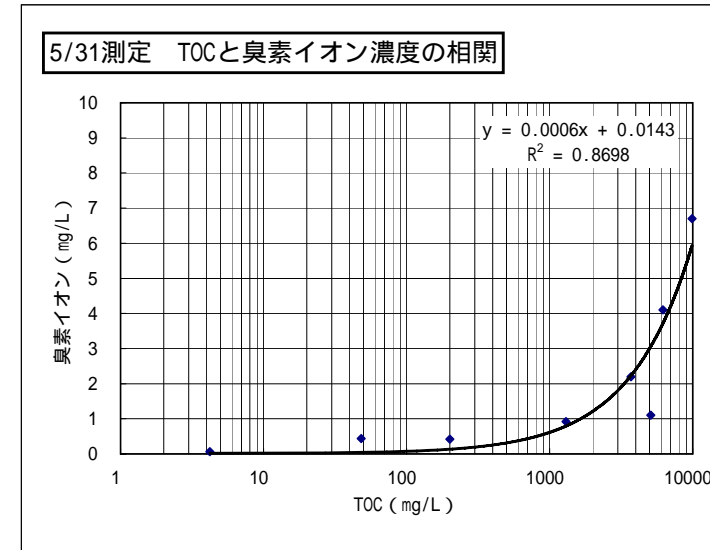
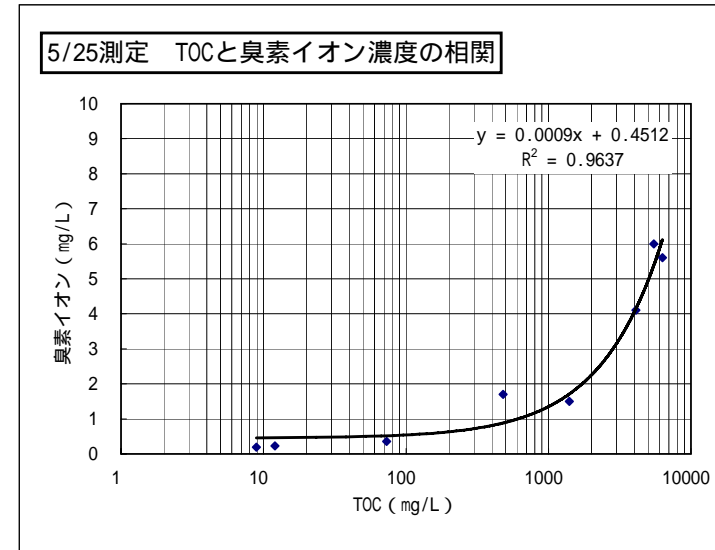
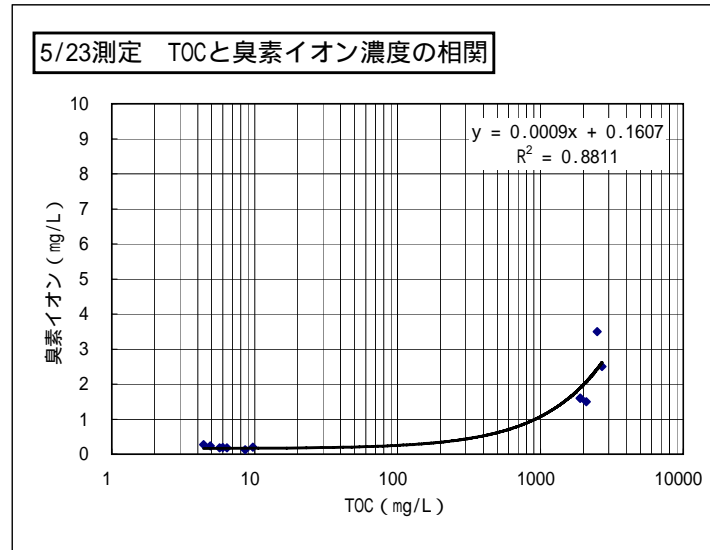


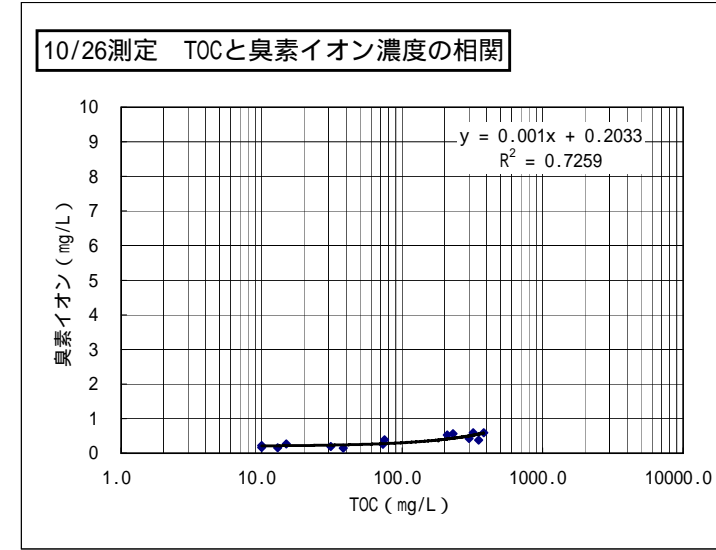
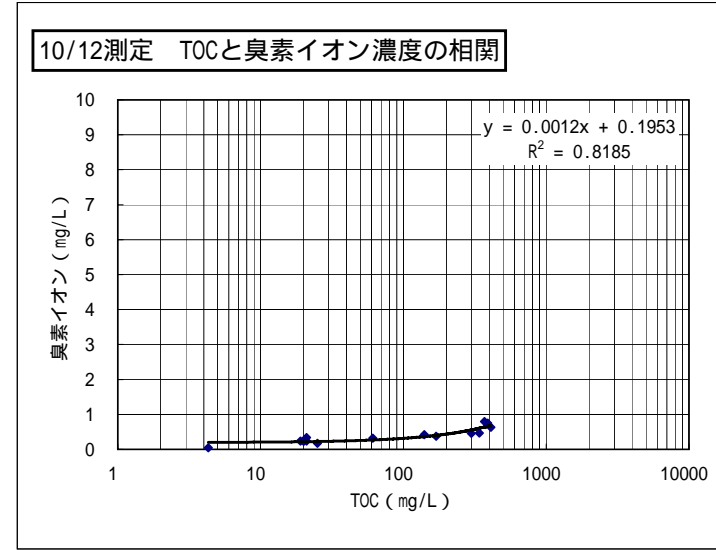
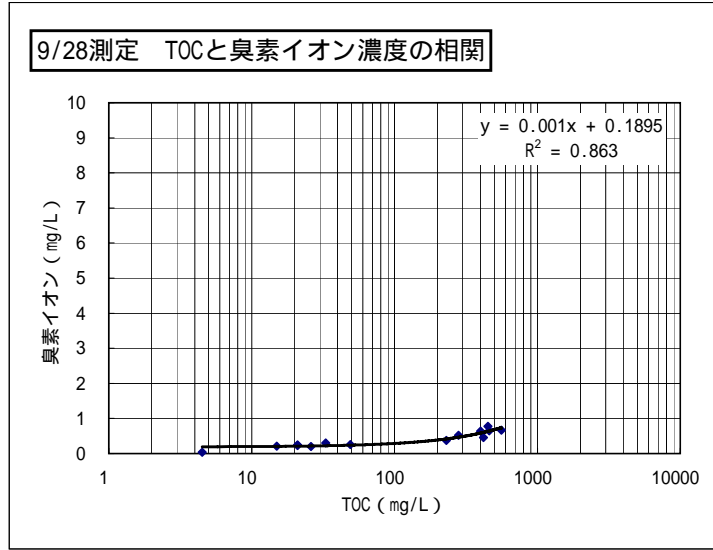
観測井M-5 VOC類mol量比率変動グラフ

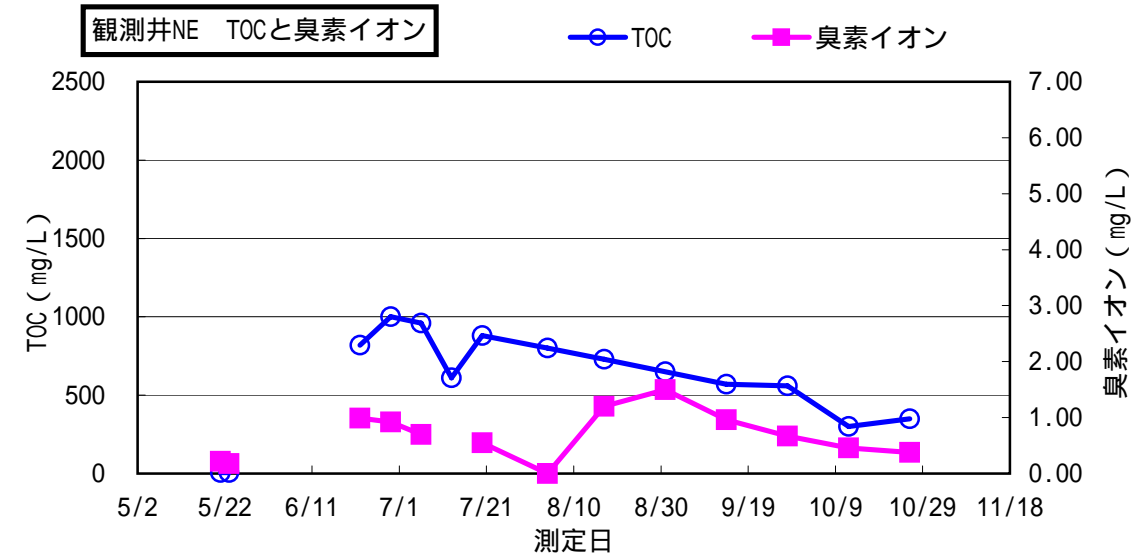
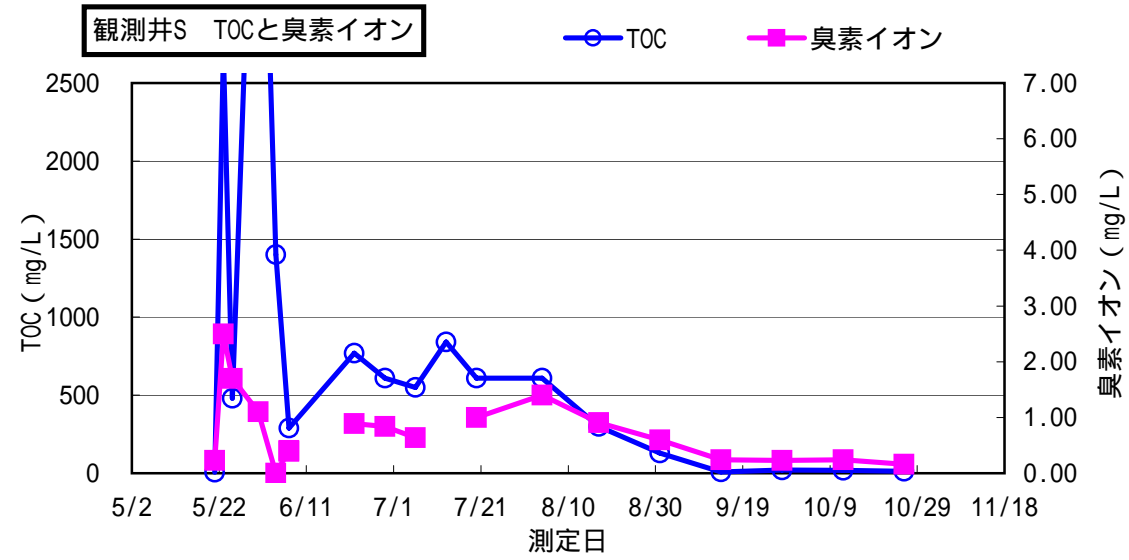
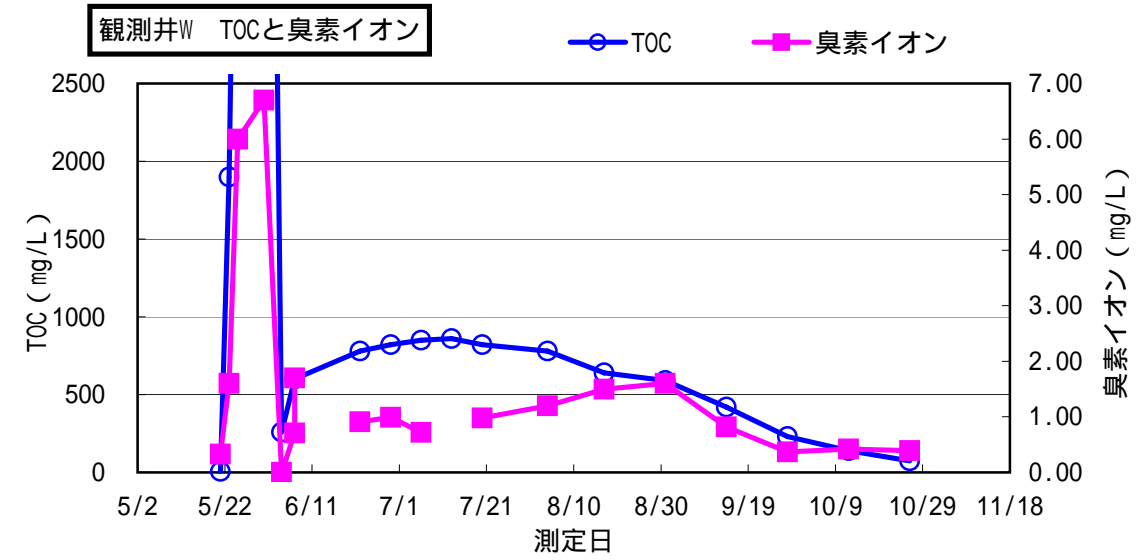
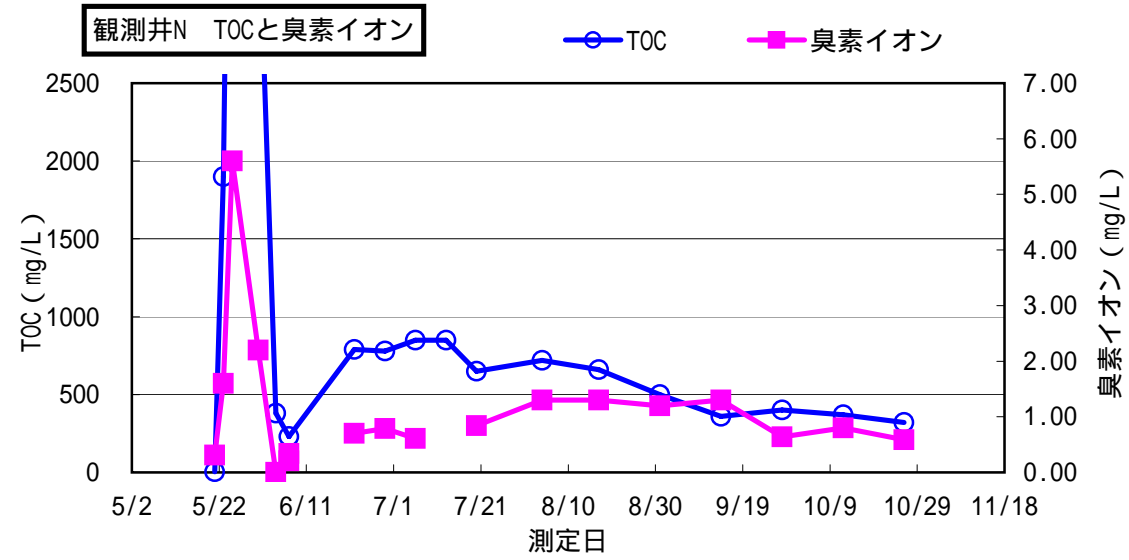
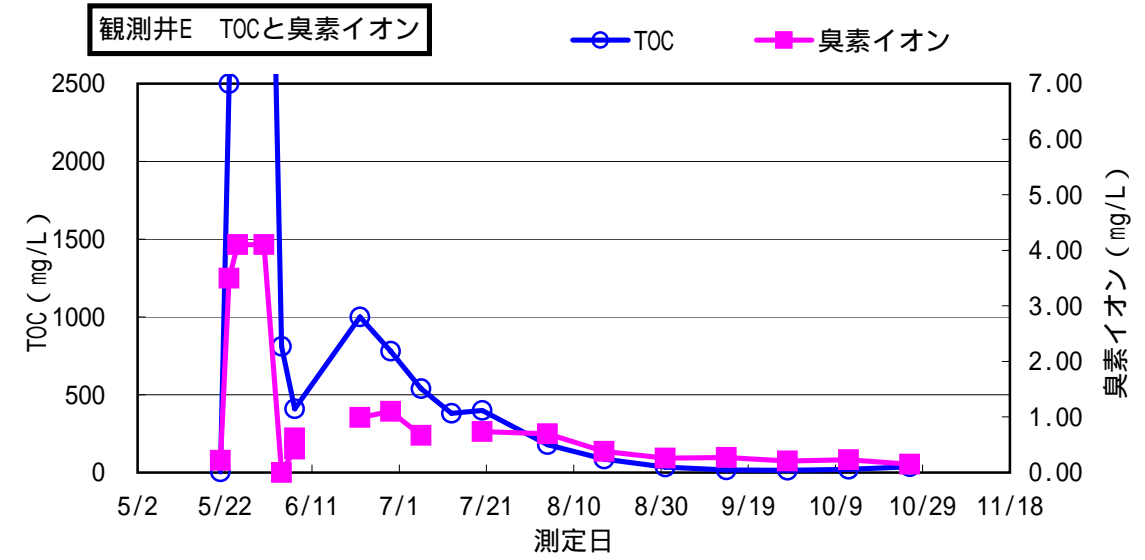
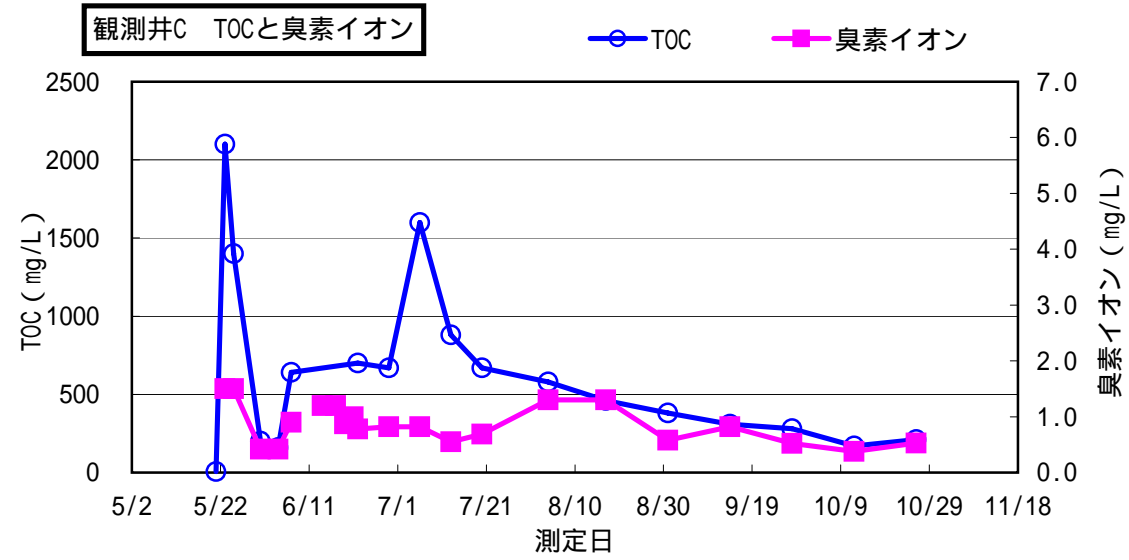


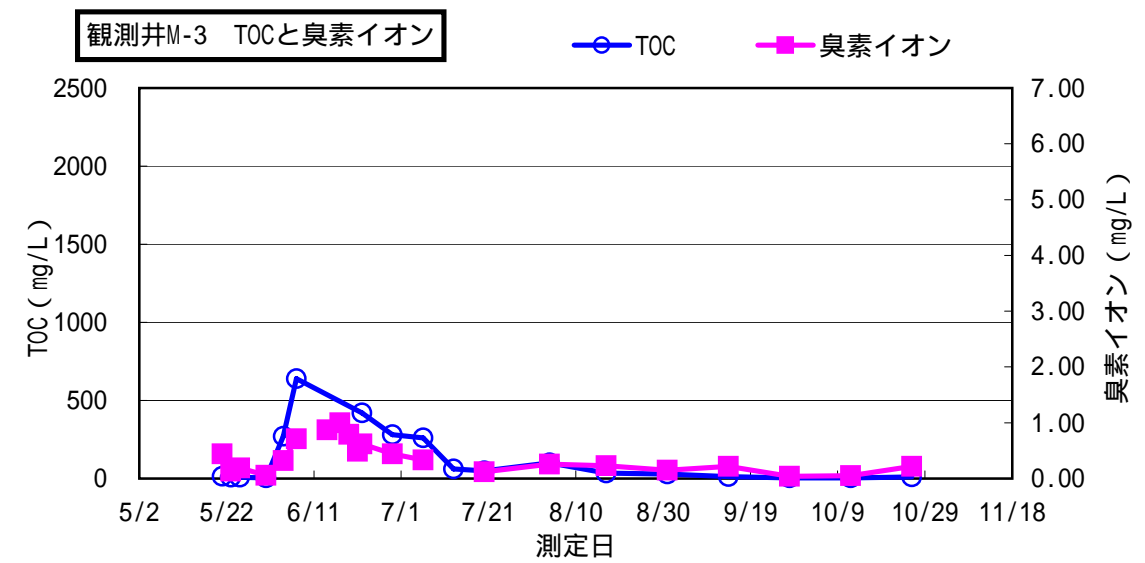
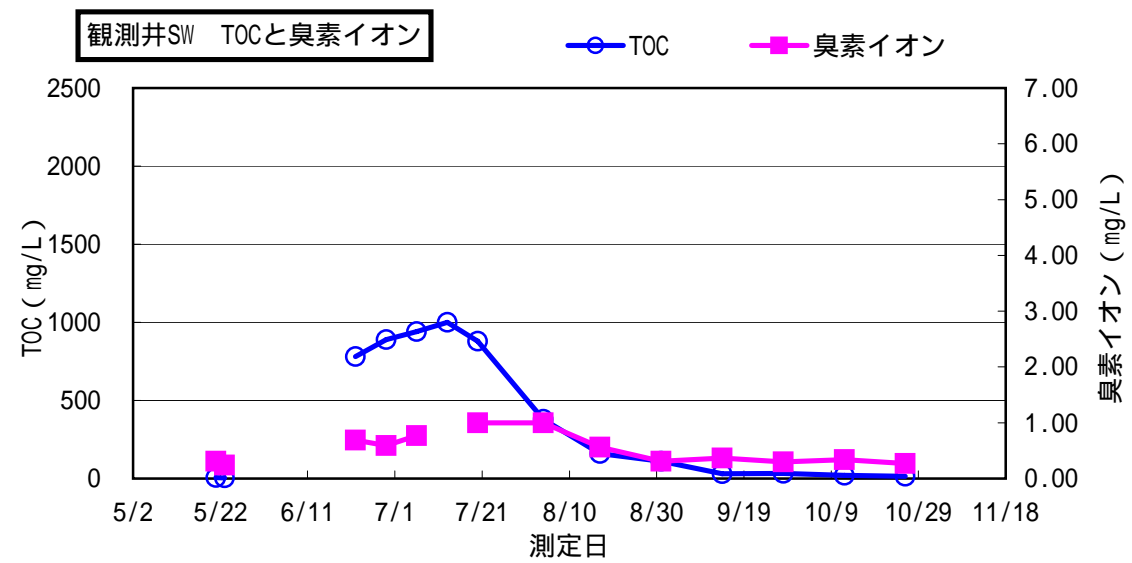
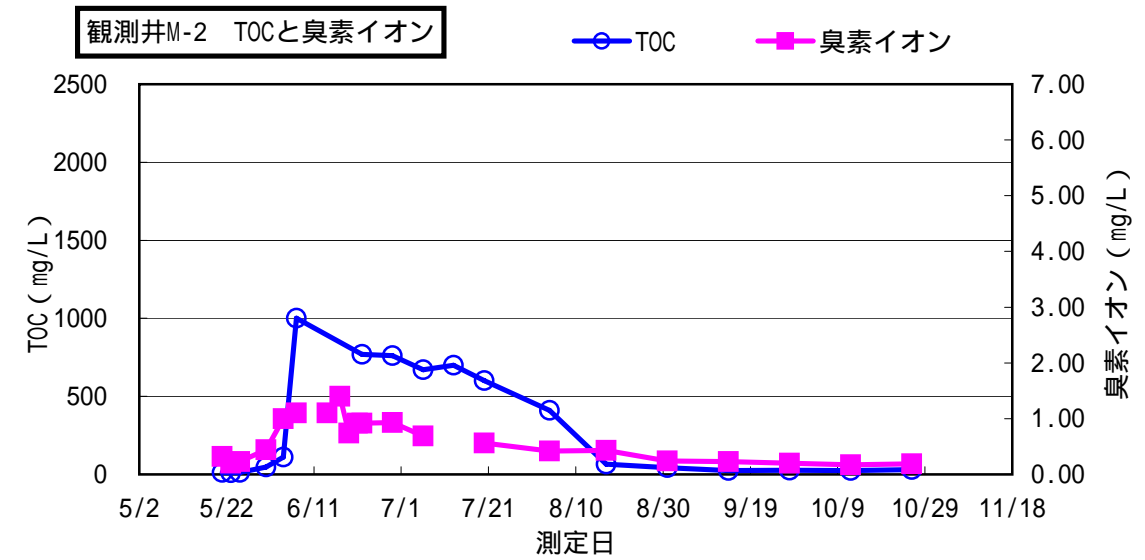
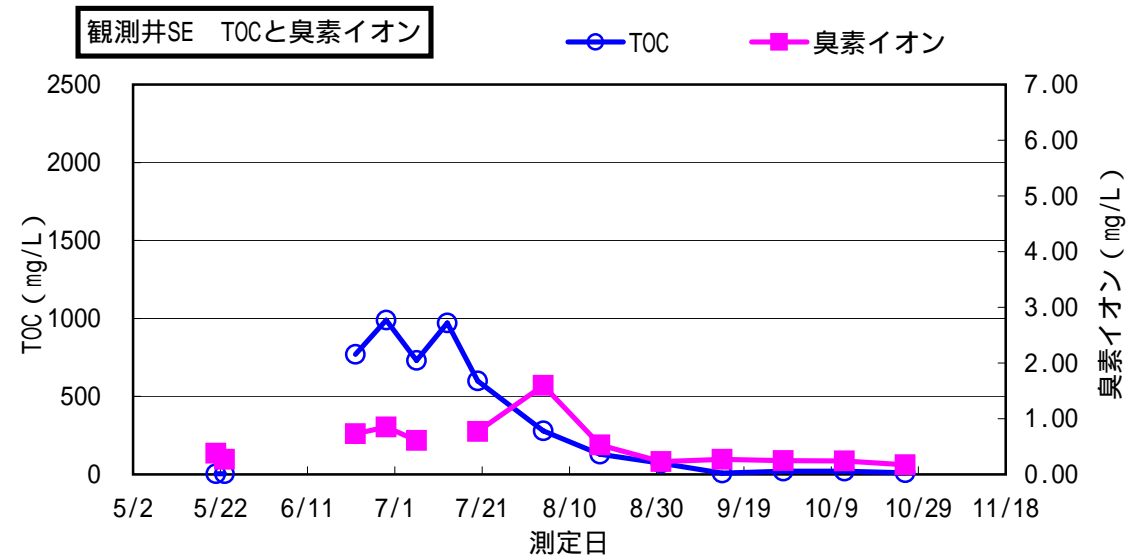
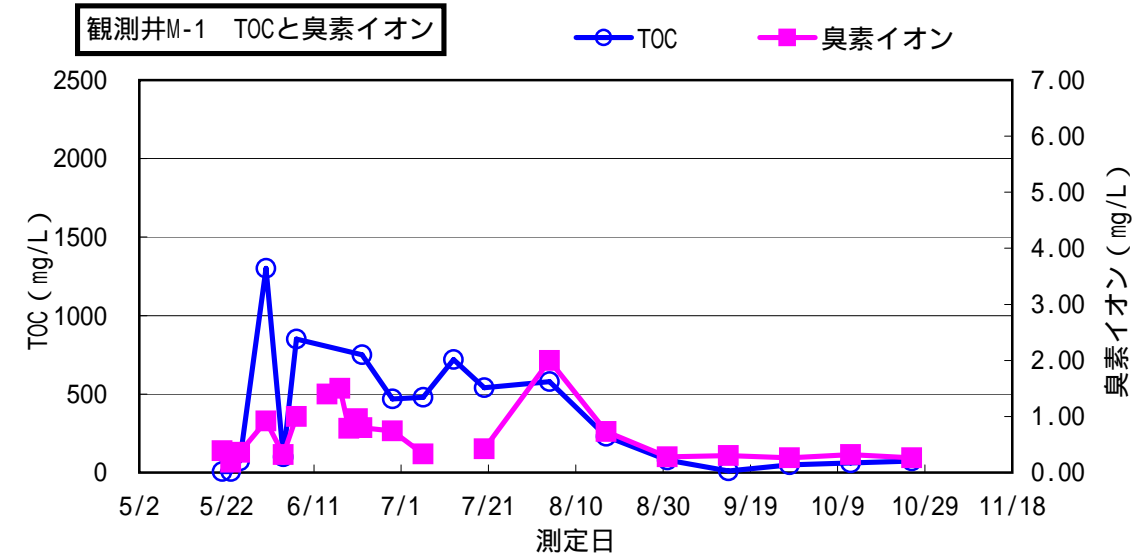
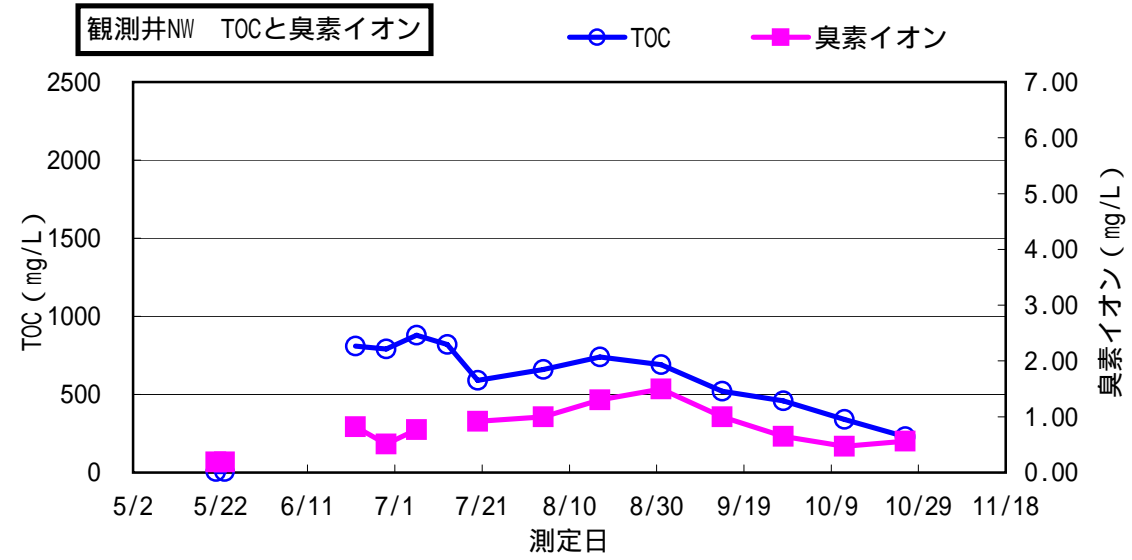
観測井A2 VOC類mol量比率変動グラフ

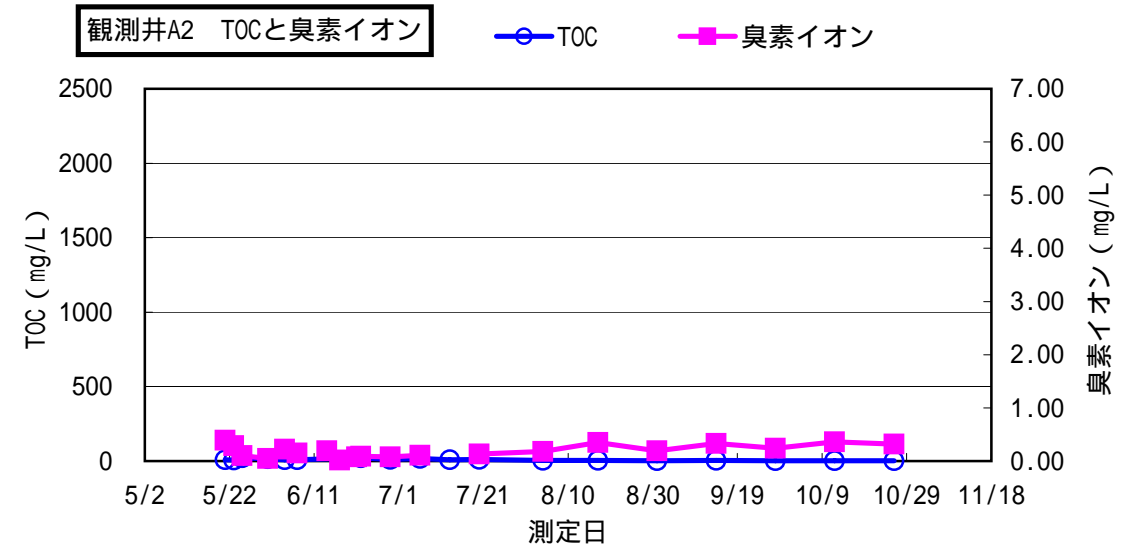
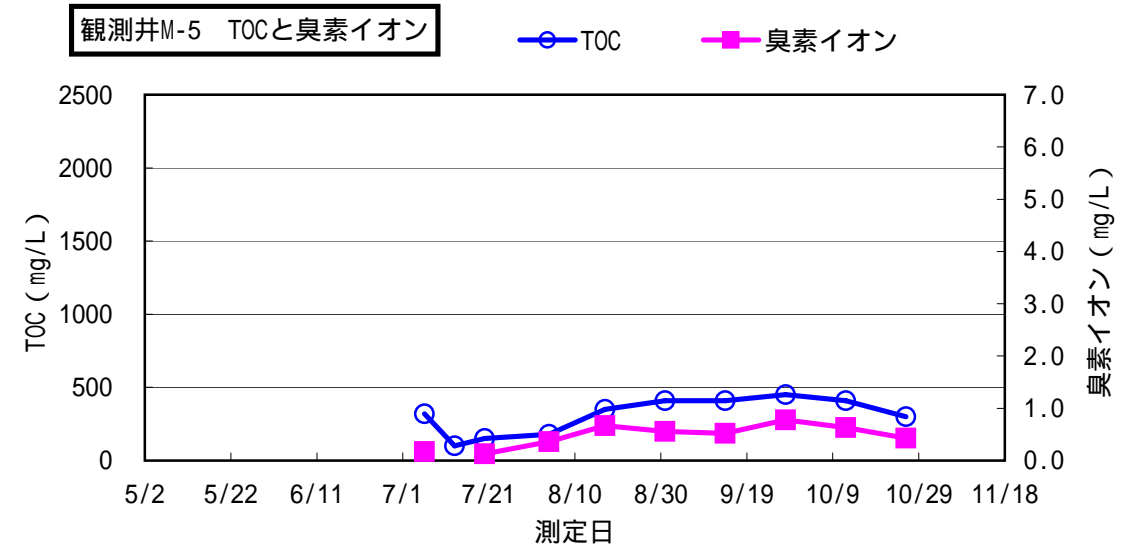
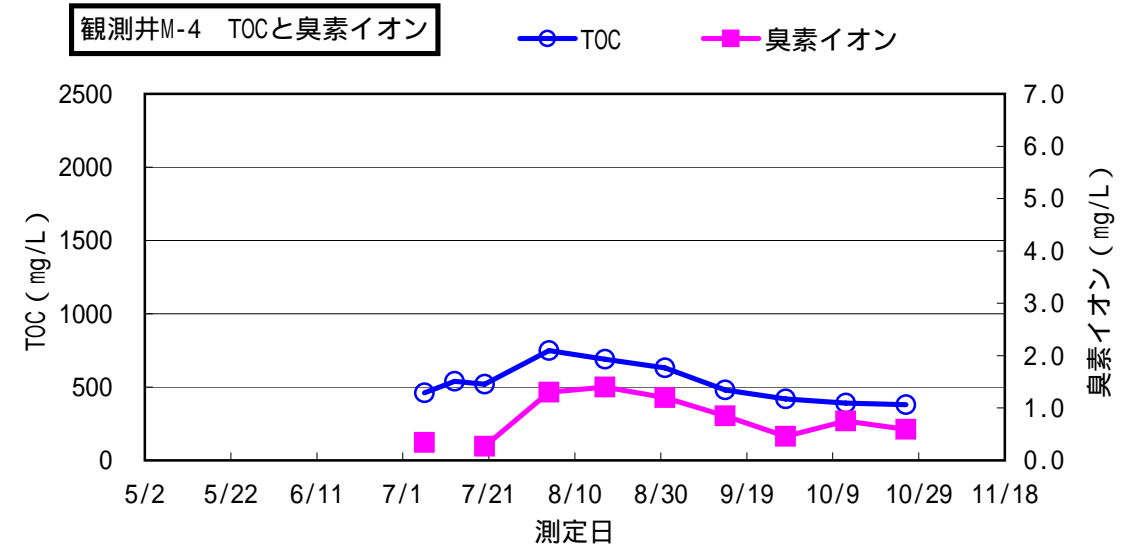










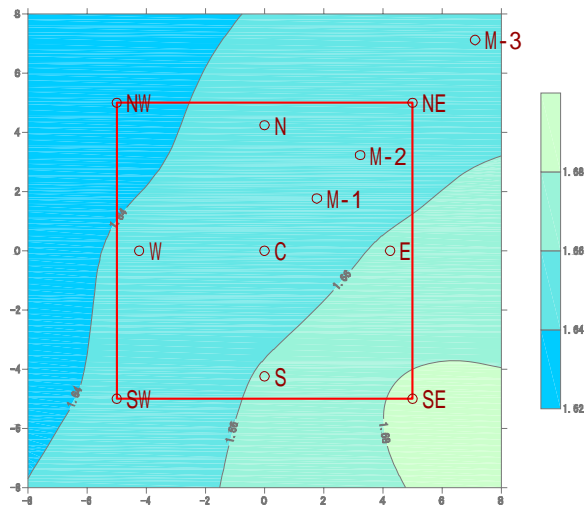




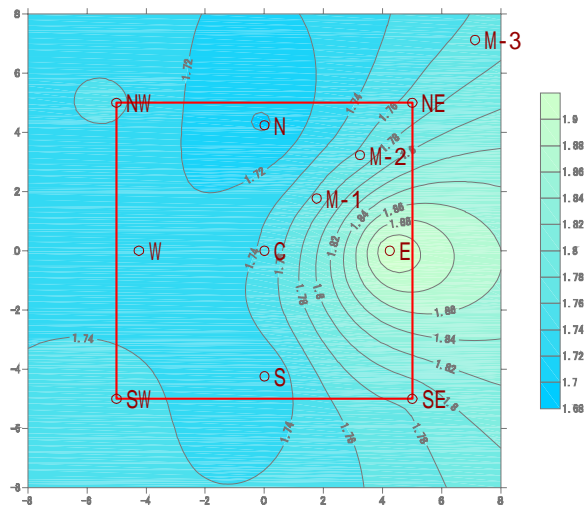
# 地下水主要測定項目測定結果 領域内平面分布变化グラフ

## 測定項目：地下水位 (OP+ m)

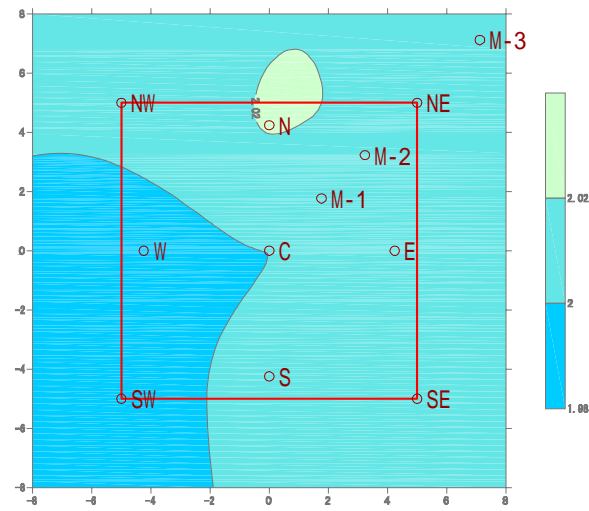
初期注入前 (H22/5/21)



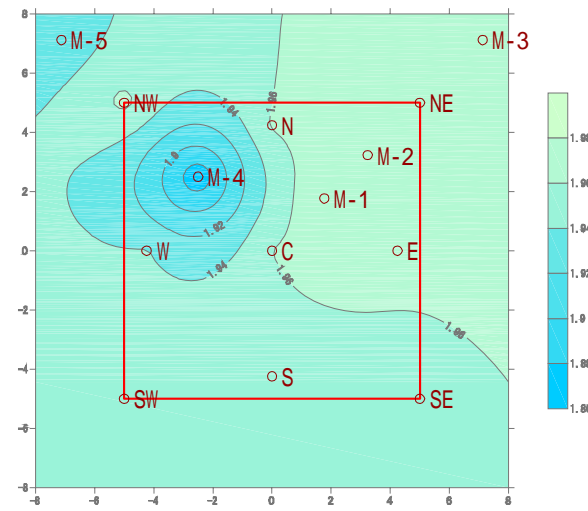
初期注入完了3時間後 (H22/5/23)



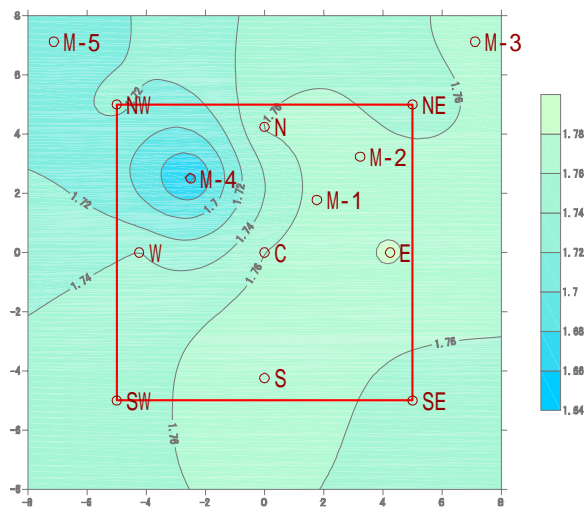
循環工程終了3日後 (H22/6/22)



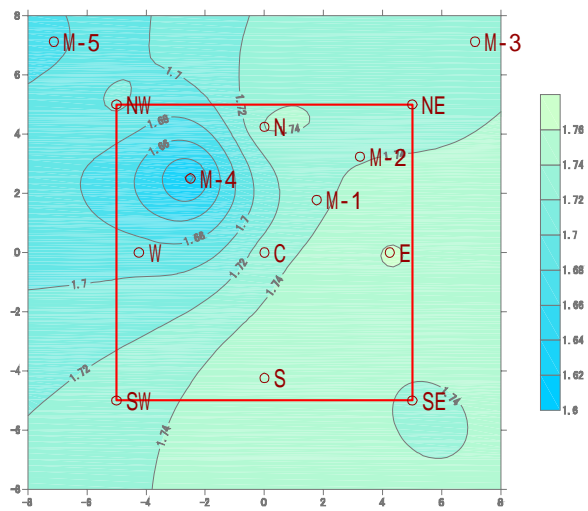
循環工程終了31日後 (H22/7/20)



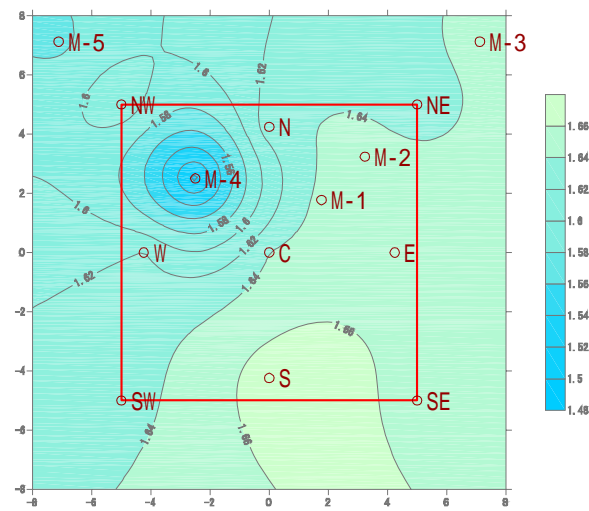
循環工程終了46日後 (H22/8/4)



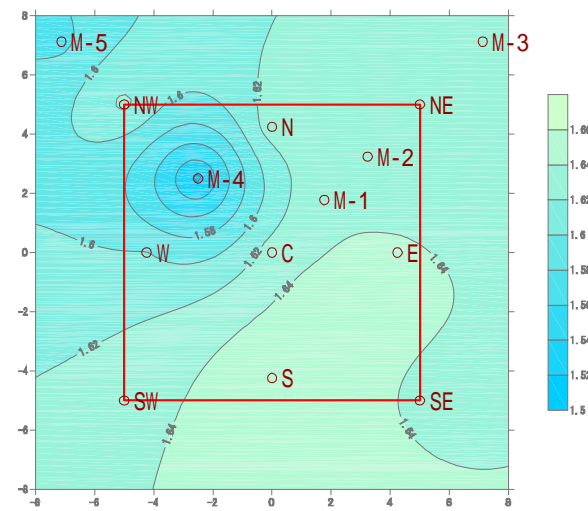
循環工程終了59日後 (H22/8/17)



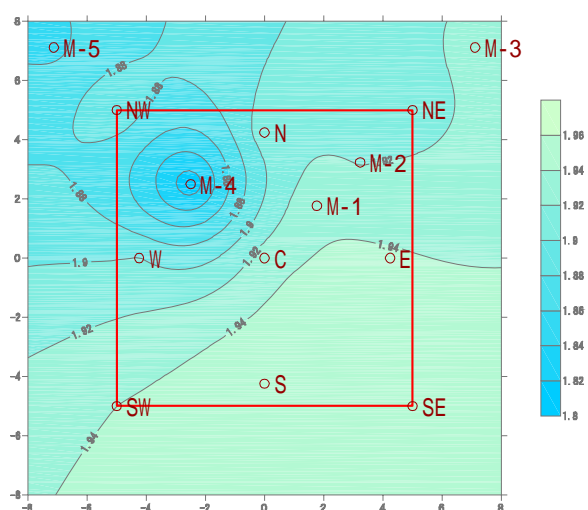
循環工程終了73日後 (H22/8/31)



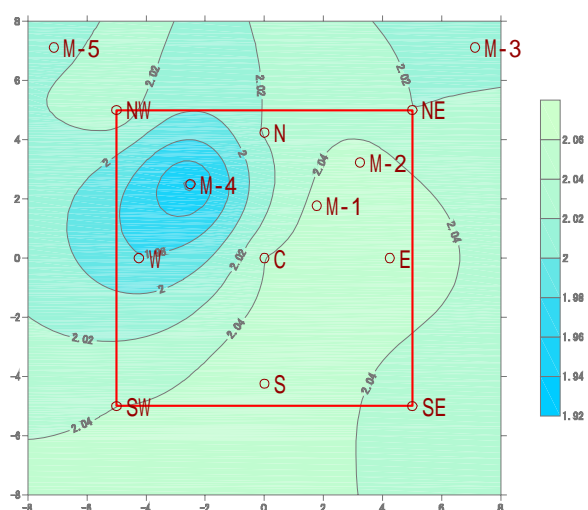
循環工程終了87日後 (H22/9/14)



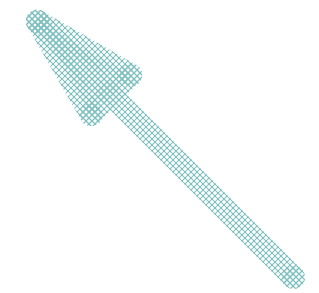
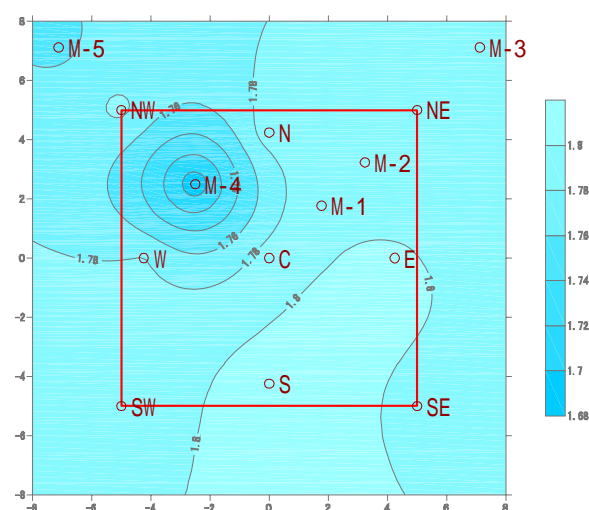
循環工程終了101日後 (H22/9/28)



循環工程終了115日後 (H22/10/12)



循環工程終了129日後 (H22/10/26)

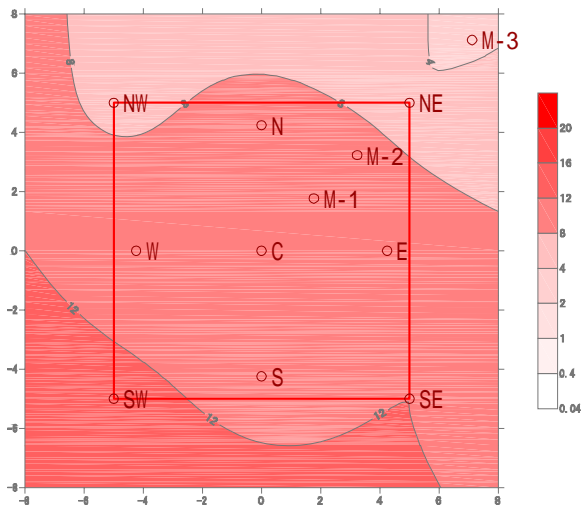


地下水流向：北西流  
 (おおよそ图中SEからNWへの流れ)

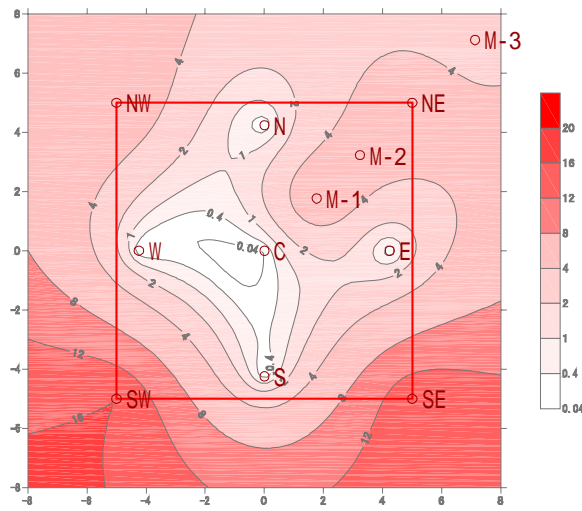
# 地下水主要測定項目測定結果 領域内平面分布変化グラフ

## 測定項目：1,2-ジクロロエチレン (mg/L)

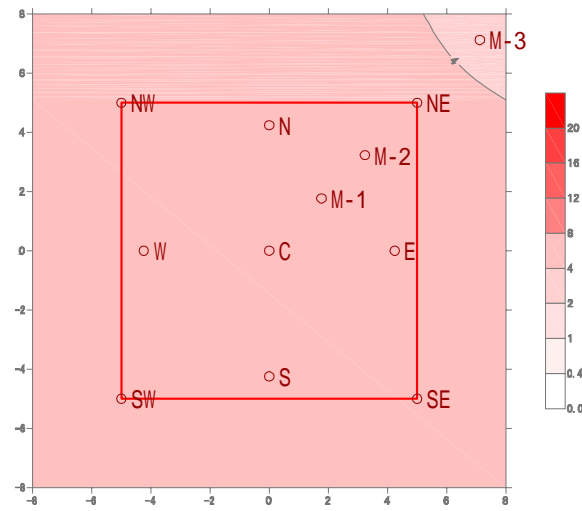
初期注入前 (H22/5/21)



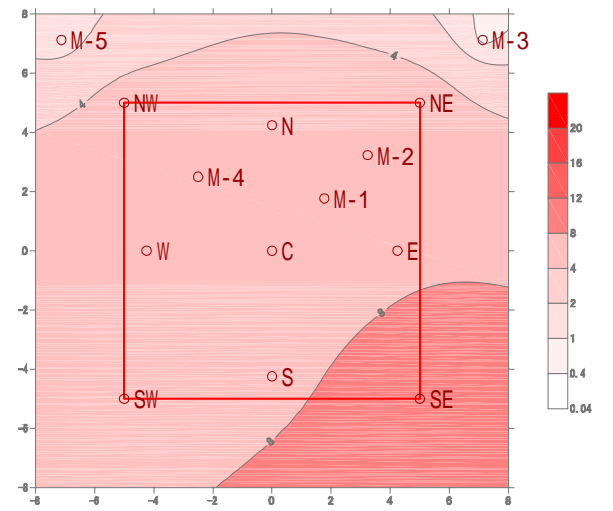
初期注入完了3時間後 (H22/5/23)



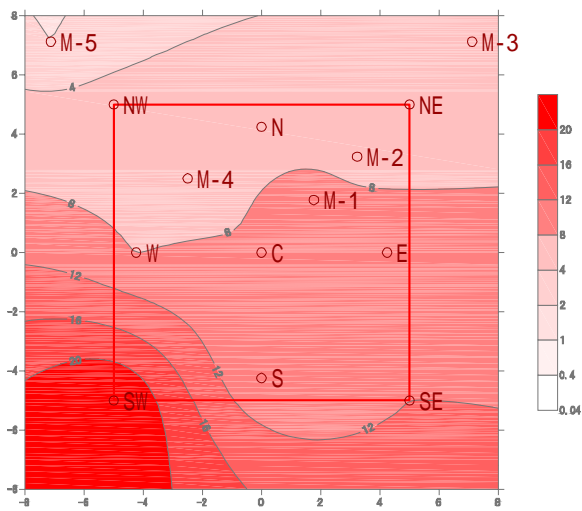
循環工程終了3日後 (H22/6/22)



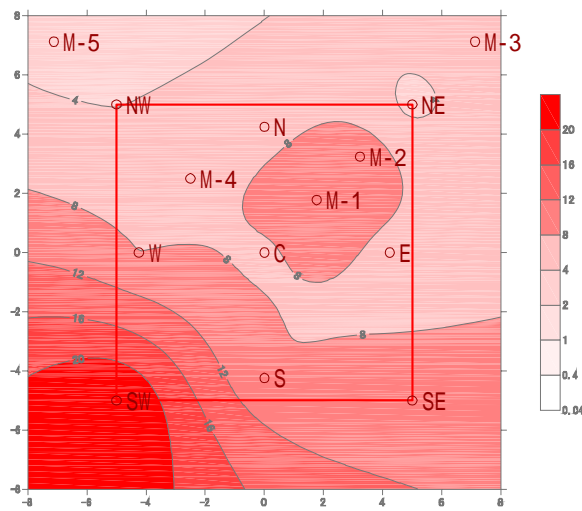
循環工程終了31日後 (H22/7/20)



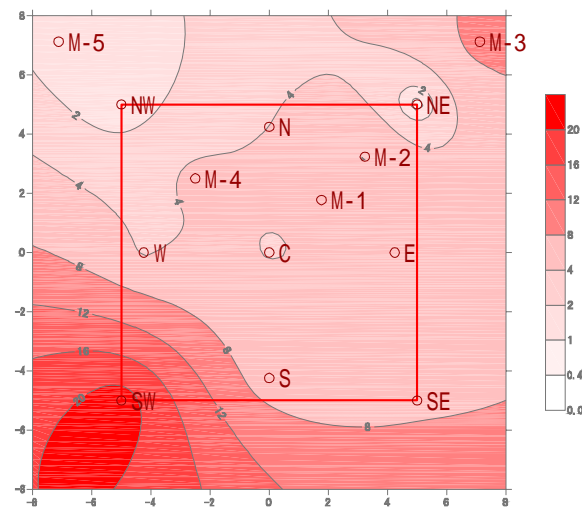
循環工程終了46日後 (H22/8/4)



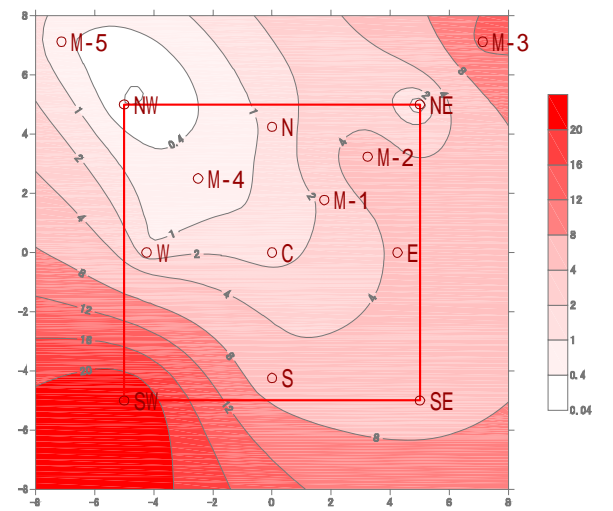
循環工程終了59日後 (H22/8/17)



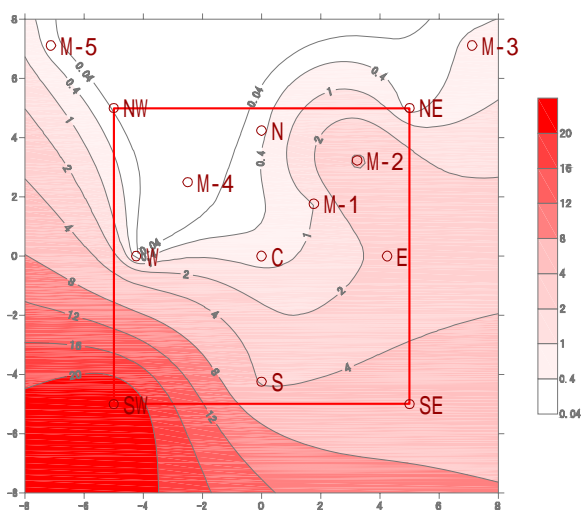
循環工程終了73日後 (H22/8/31)



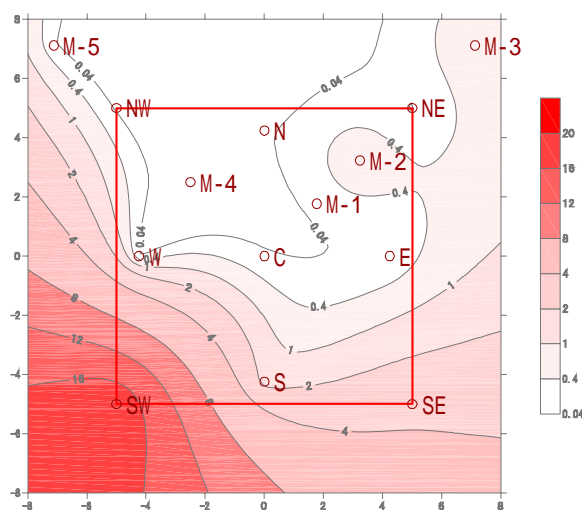
循環工程終了87日後 (H22/9/14)



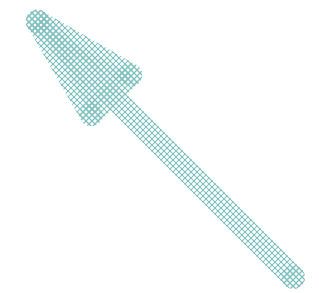
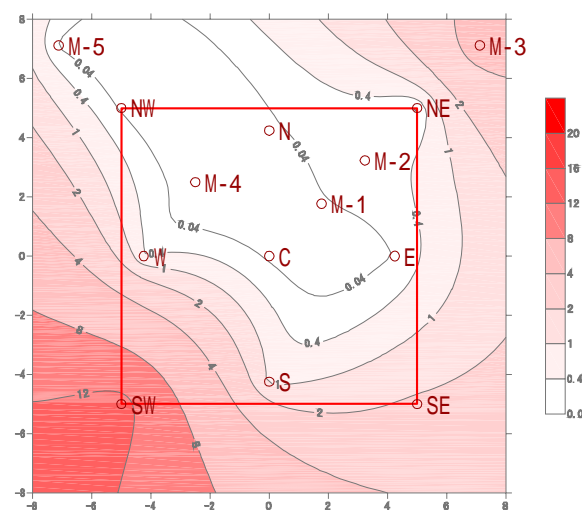
循環工程終了101日後 (H22/9/28)



循環工程終了115日後 (H22/10/12)



循環工程終了129日後 (H22/10/26)



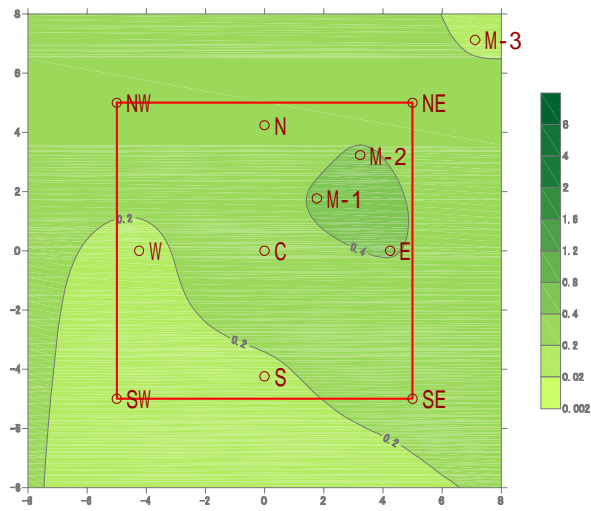
地下水流向：北西流  
(おおよそ图中SEからNWへの流れ)



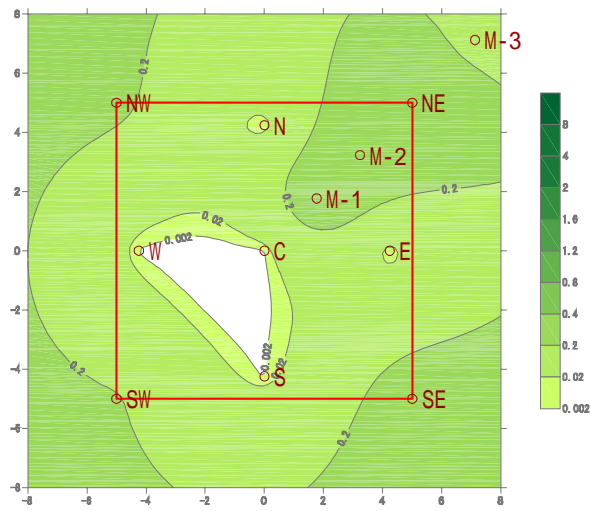
# 地下水主要測定項目測定結果 領域内平面分布変化グラフ

測定項目：塩化ビニルモノマー (mg/L)

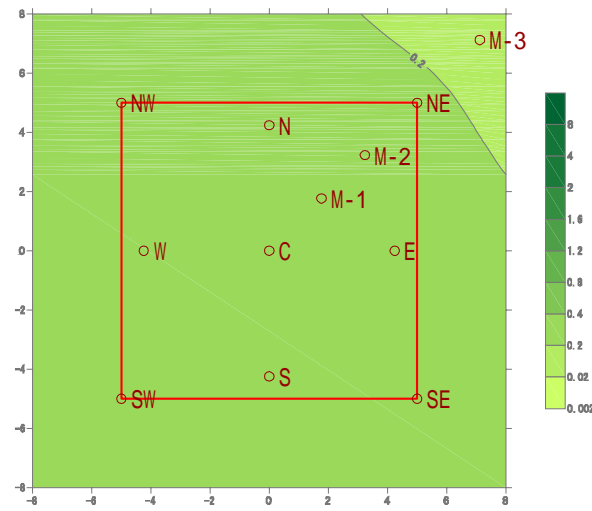
初期注入前 (H22/5/21)



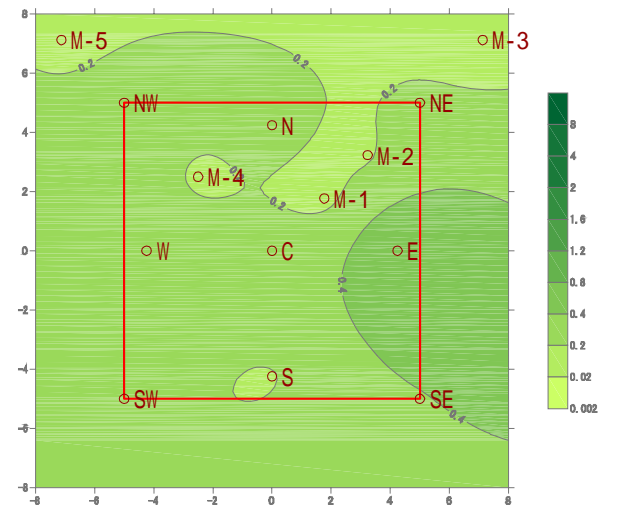
初期注入完了3時間後 (H22/5/23)



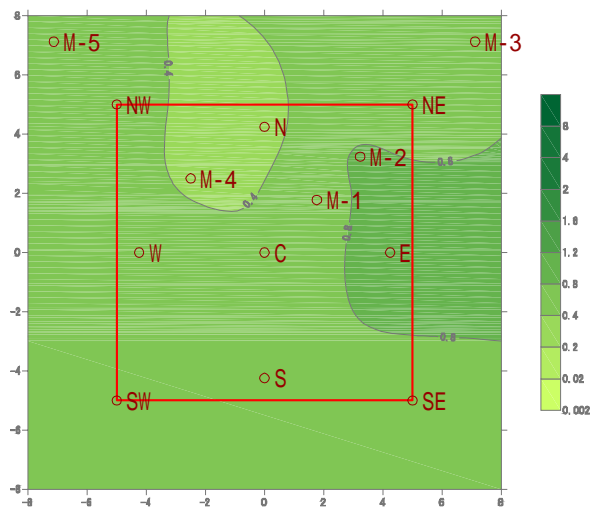
循環工程終了3日後 (H22/6/22)



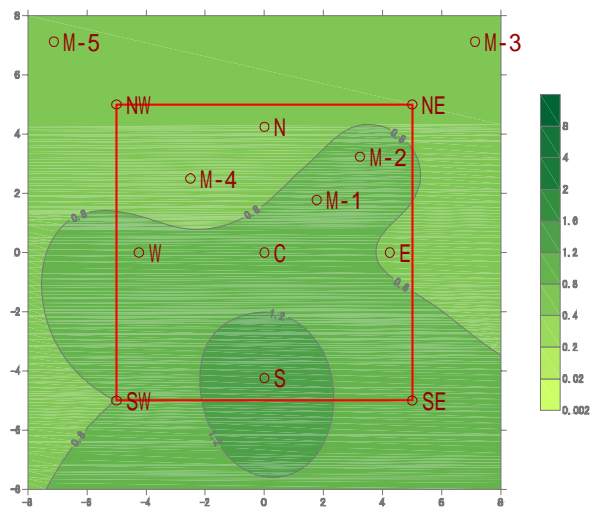
循環工程終了31日後 (H22/7/20)



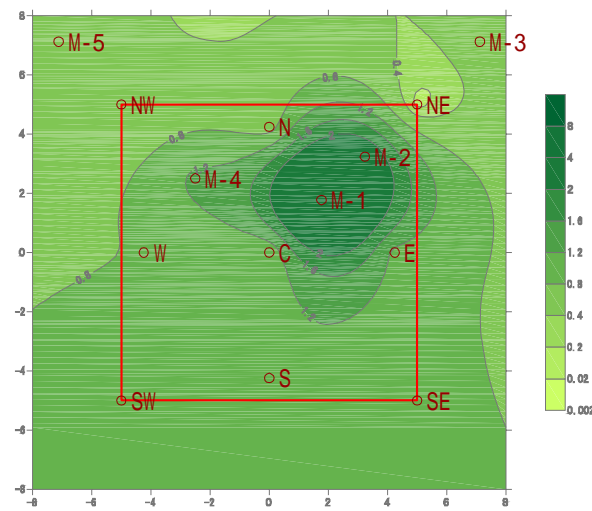
循環工程終了46日後 (H22/8/4)



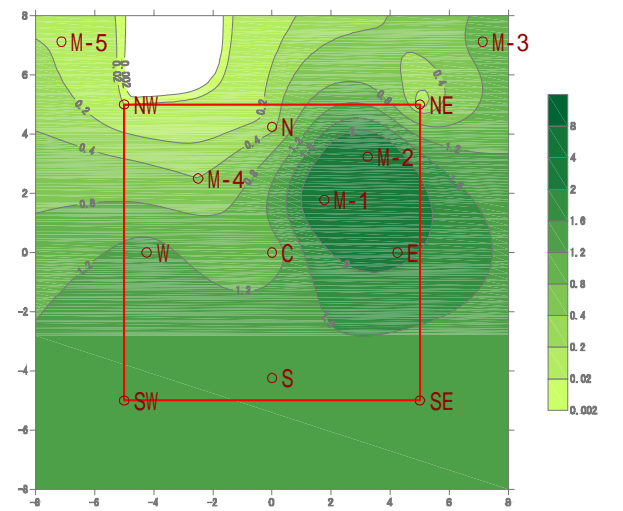
循環工程終了59日後 (H22/8/17)



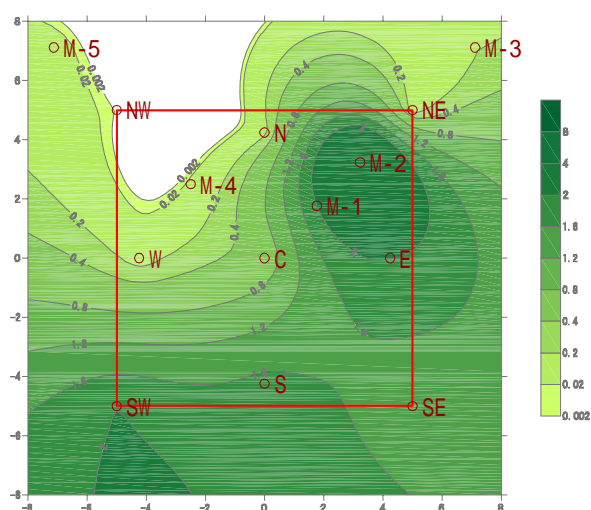
循環工程終了73日後 (H22/8/31)



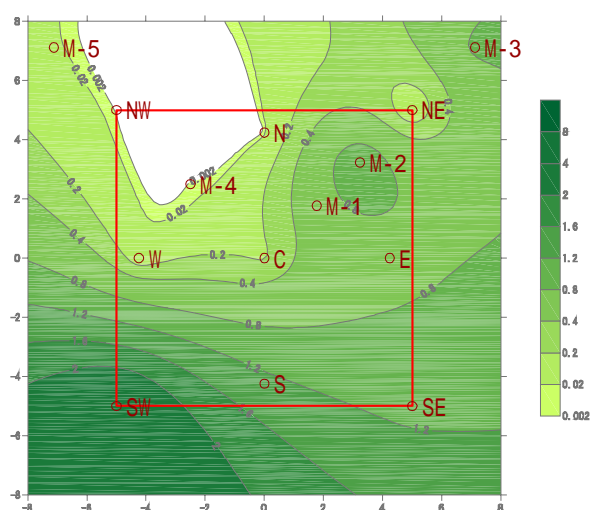
循環工程終了87日後 (H22/9/14)



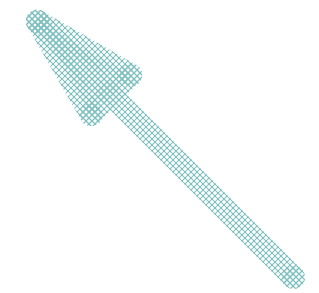
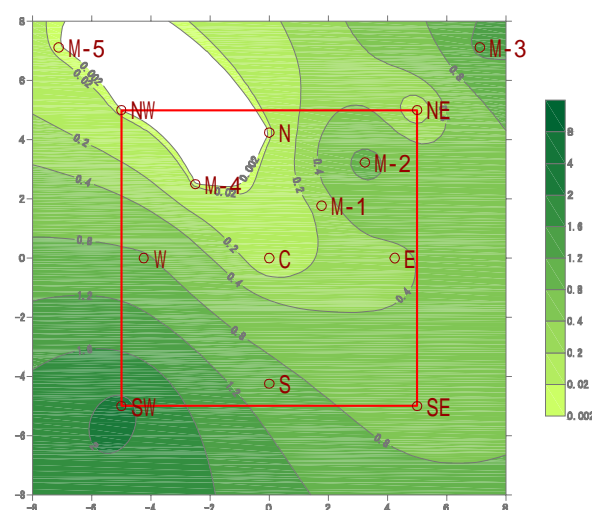
循環工程終了101日後 (H22/9/28)



循環工程終了115日後 (H22/10/12)



循環工程終了129日後 (H22/10/26)

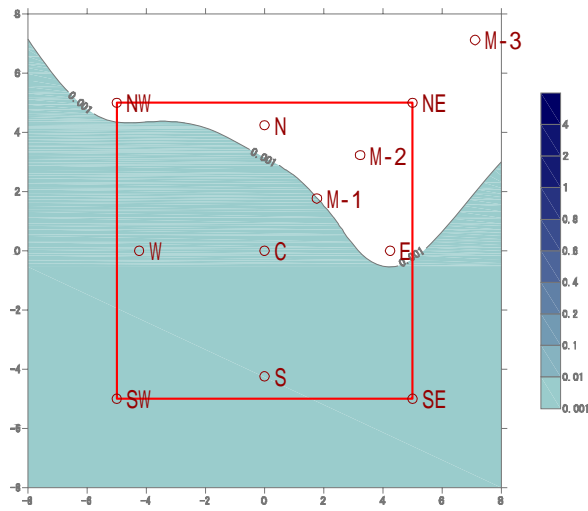


地下水流向：北西流  
(おおよそ図中SEからNWへの流れ)

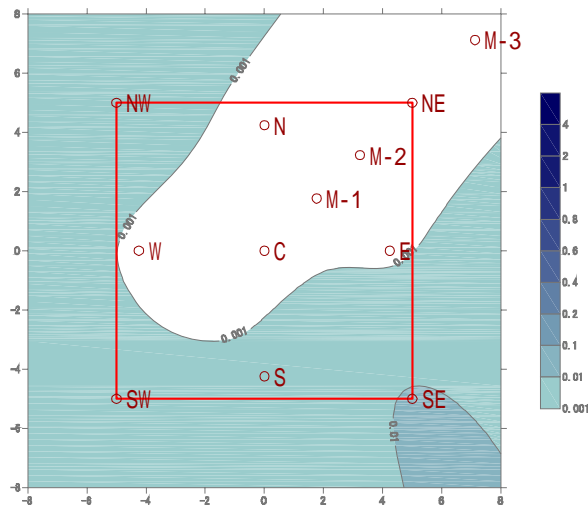
# 地下水主要測定項目測定結果 領域内平面分布変化グラフ

測定項目：エチレン (mg/L)

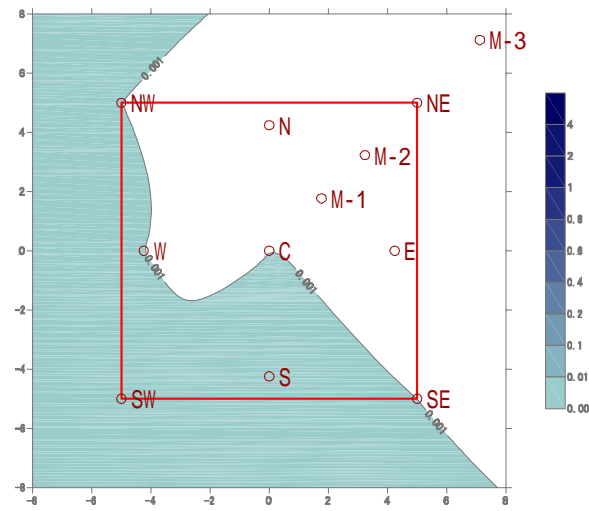
初期注入前 (H22/5/21)



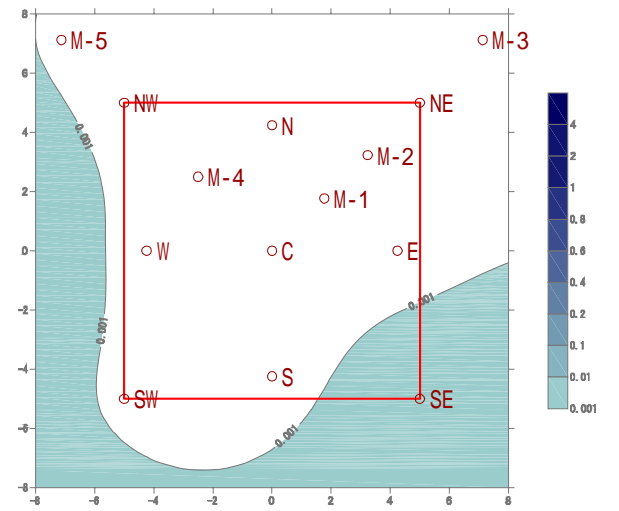
初期注入完了3時間後 (H22/5/23)



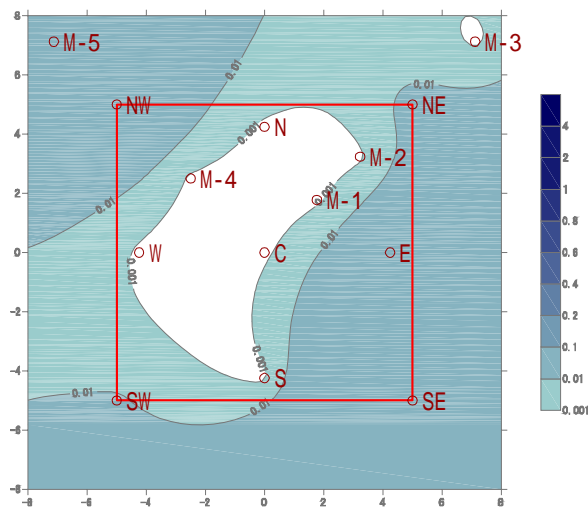
循環工程終了3日後 (H22/6/22)



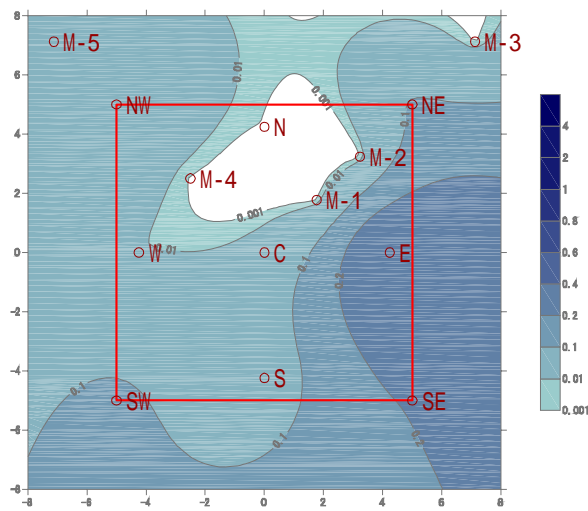
循環工程終了31日後 (H22/7/20)



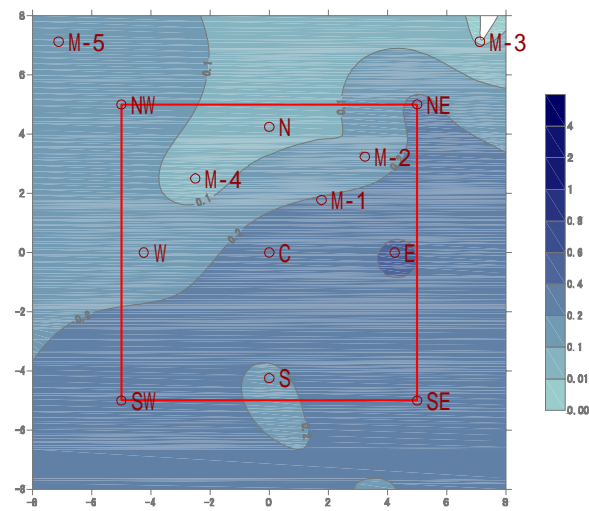
循環工程終了46日後 (H22/8/4)



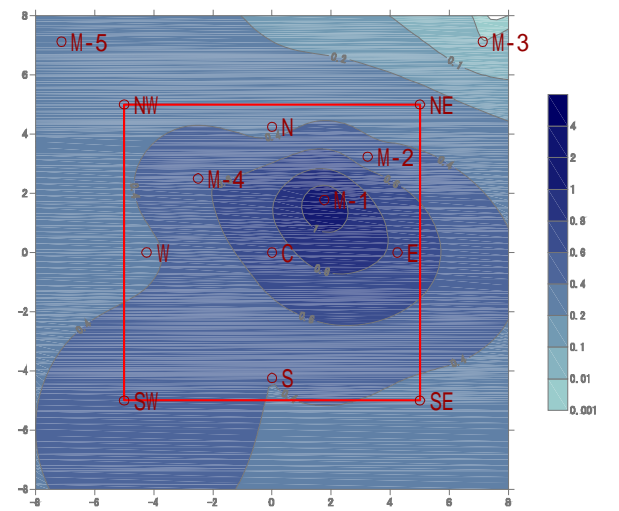
循環工程終了59日後 (H22/8/17)



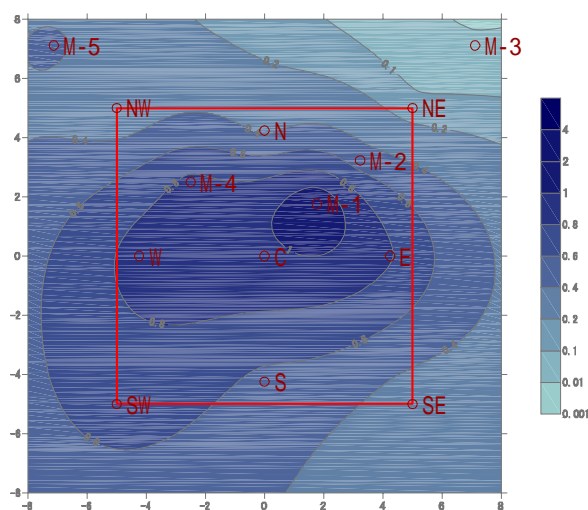
循環工程終了73日後 (H22/8/31)



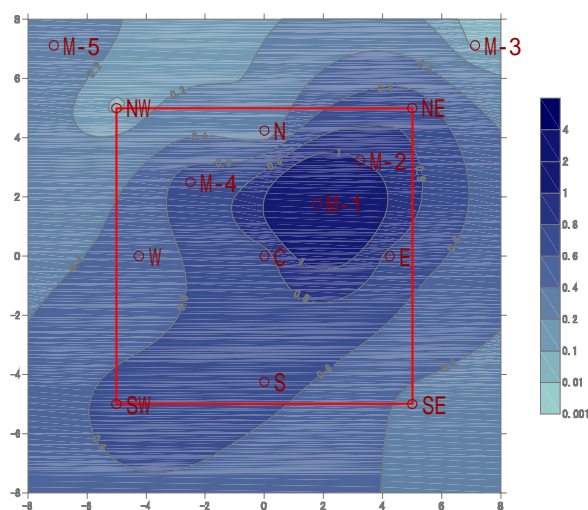
循環工程終了87日後 (H22/9/14)



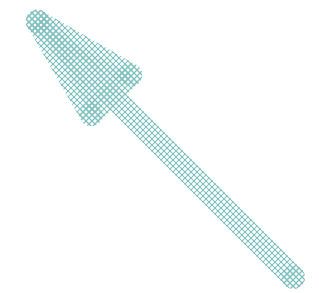
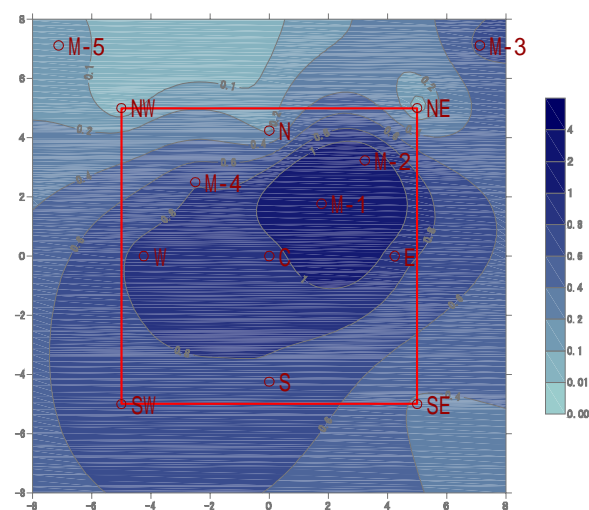
循環工程終了101日後 (H22/9/28)



循環工程終了115日後 (H22/10/12)



循環工程終了129日後 (H22/10/26)



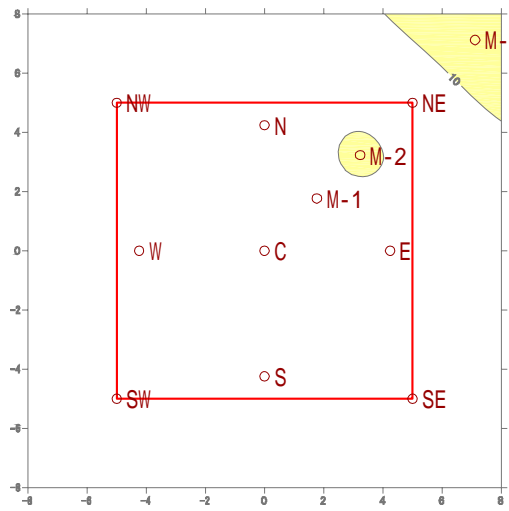
地下水流向：北西流  
(おおよそ图中SEからNWへの流れ)



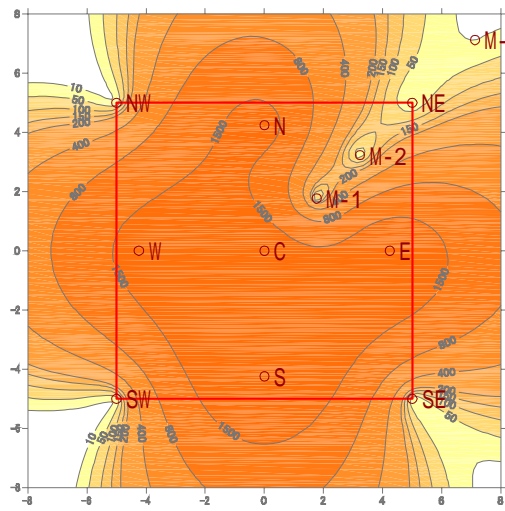
# 地下水主要測定項目測定結果 領域内平面分布变化グラフ

## 測定項目：TOC (mg/L)

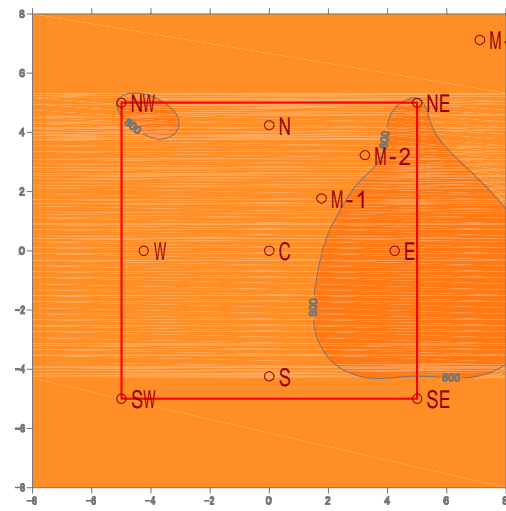
初期注入前 (H22/5/21)



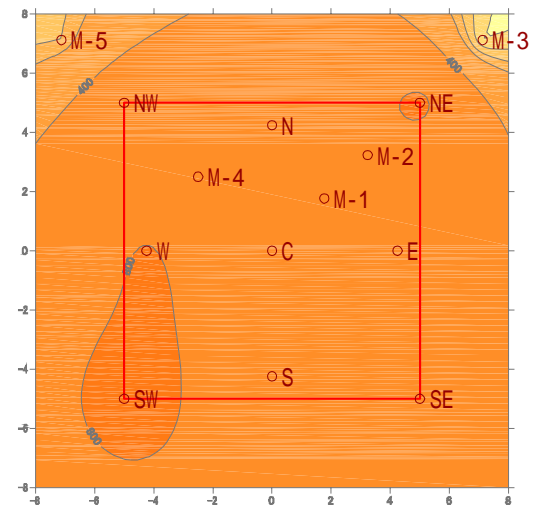
初期注入完了3時間後 (H22/5/23)



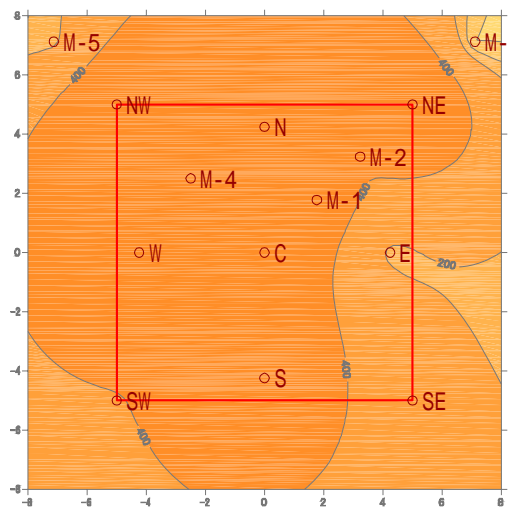
循環工程終了3日後 (H22/6/22)



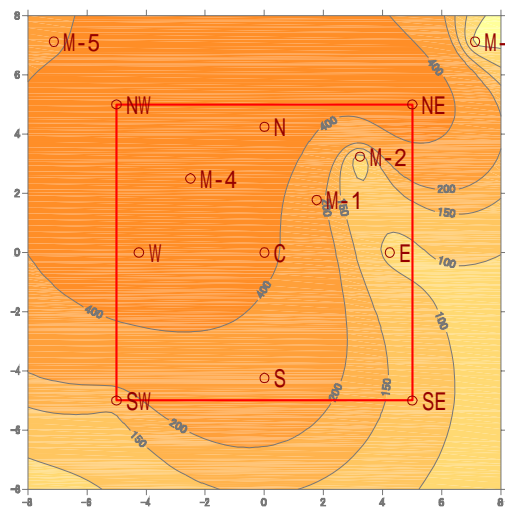
循環工程終了31日後 (H22/7/20)



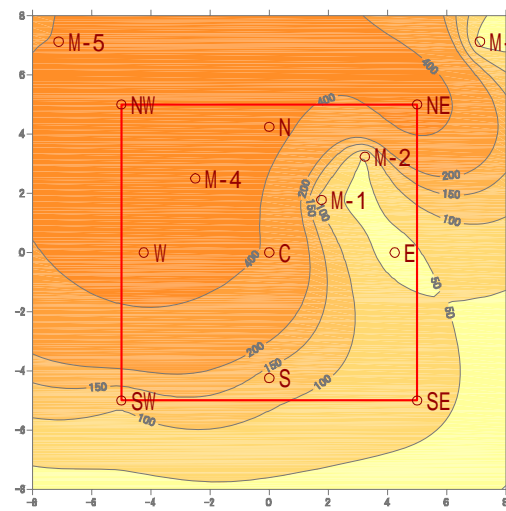
循環工程終了46日後 (H22/8/4)



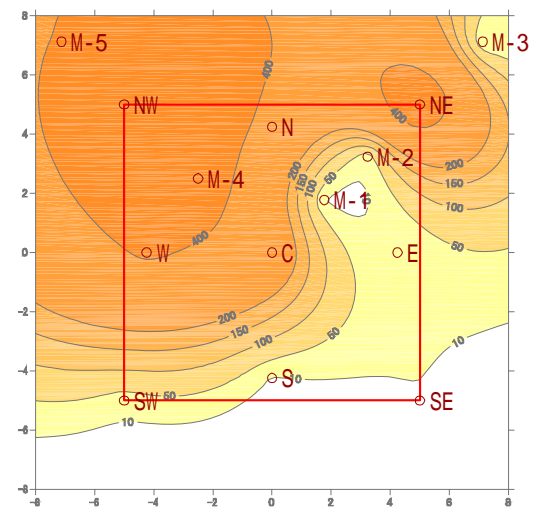
循環工程終了59日後 (H22/8/17)



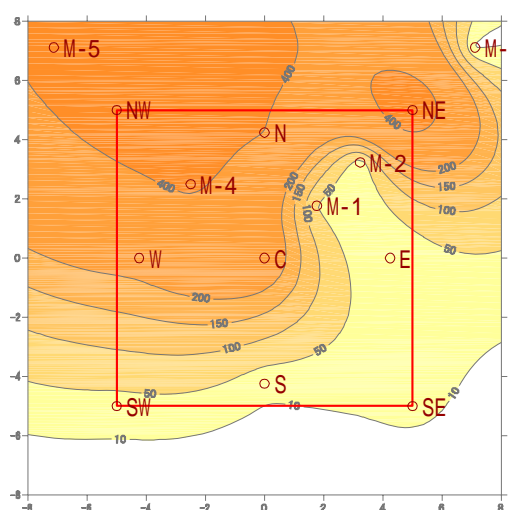
循環工程終了73日後 (H22/8/31)



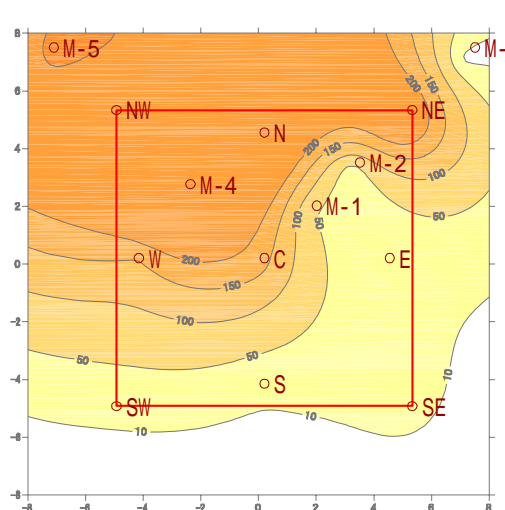
循環工程終了87日後 (H22/9/14)



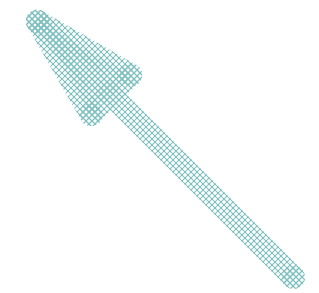
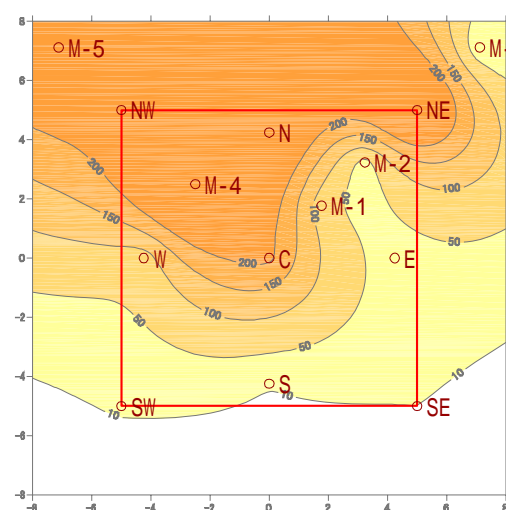
循環工程終了101日後 (H22/9/28)



循環工程終了115日後 (H22/10/12)



循環工程終了129日後 (H22/10/26)

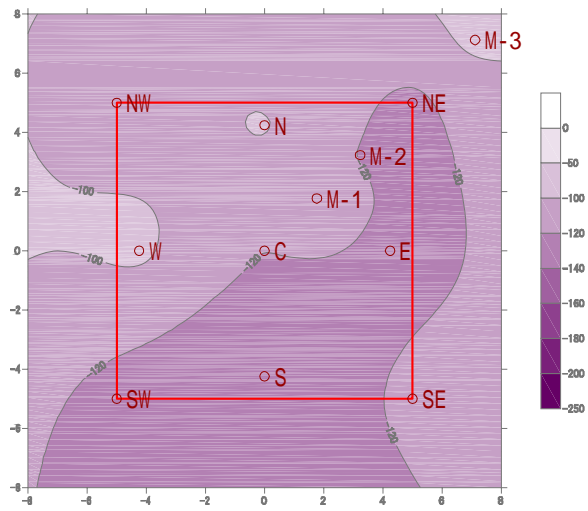


地下水流向：北西流  
(おおよそ图中SEからNWへの流れ)

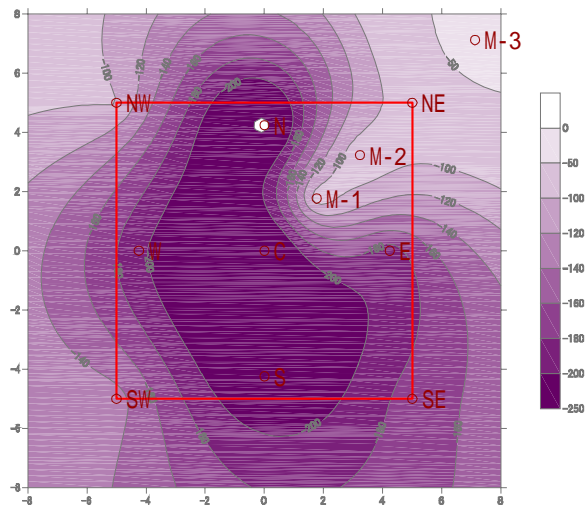
# 地下水主要測定項目測定結果 領域内平面分布变化グラフ

## 測定項目：酸化還元電位 (mv)

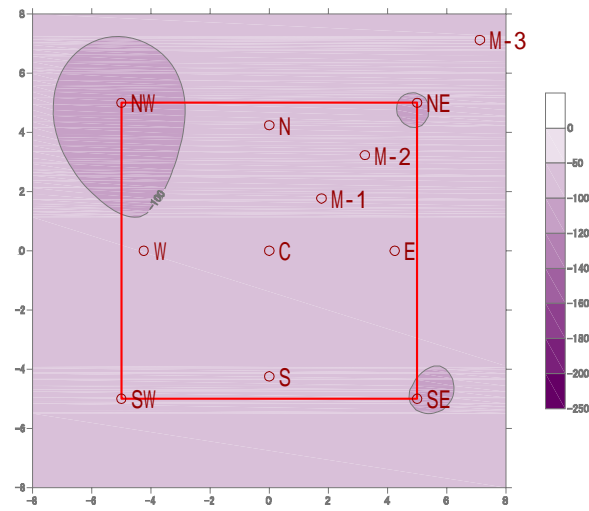
初期注入前 (H22/5/21)



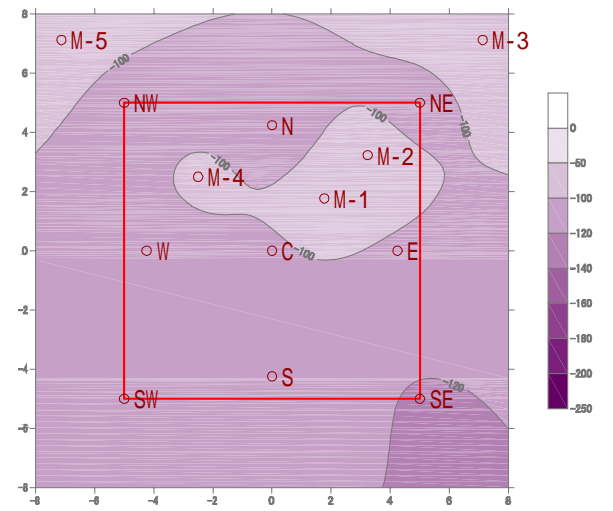
初期注入完了3時間後 (H22/5/23)



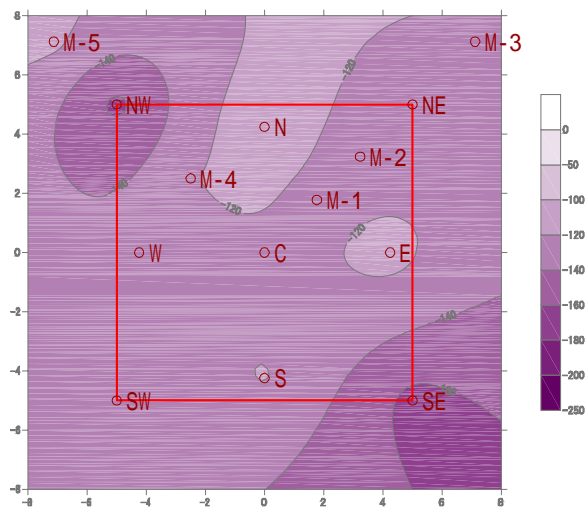
循環工程終了3日後 (H22/6/22)



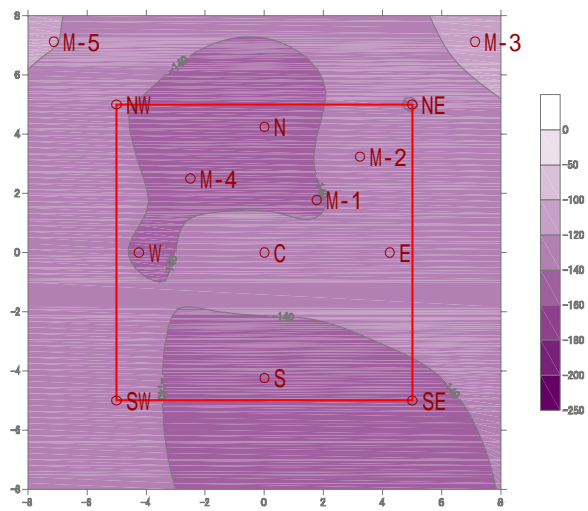
循環工程終了31日後 (H22/7/20)



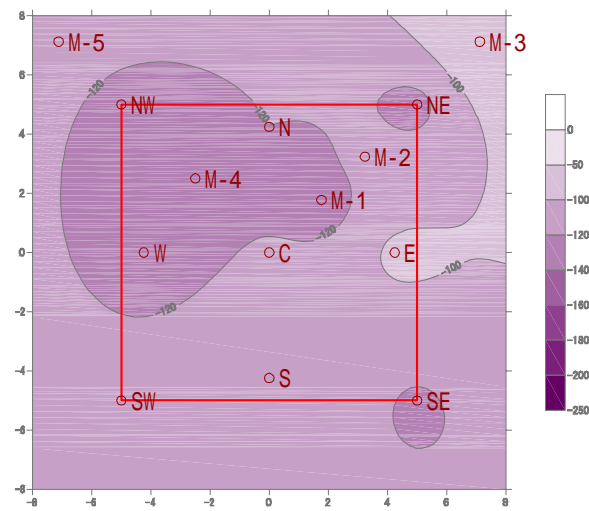
循環工程終了46日後 (H22/8/4)



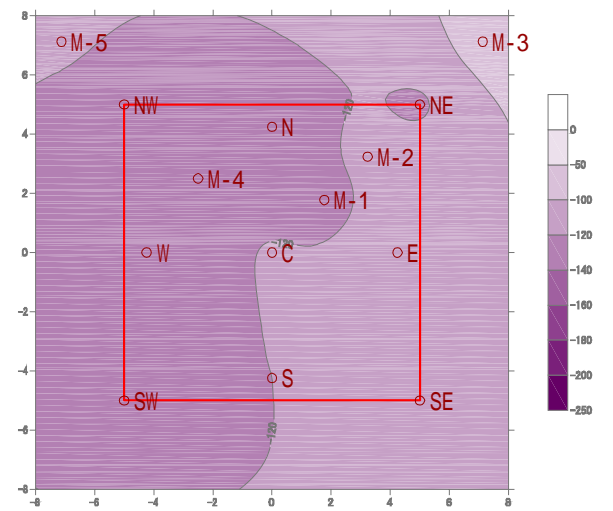
循環工程終了59日後 (H22/8/17)



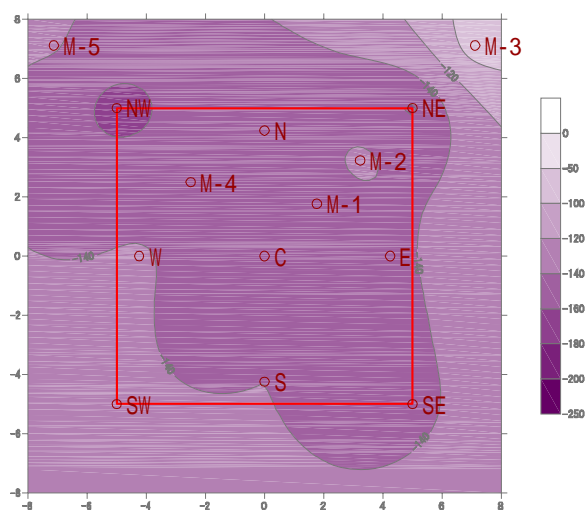
循環工程終了73日後 (H22/8/31)



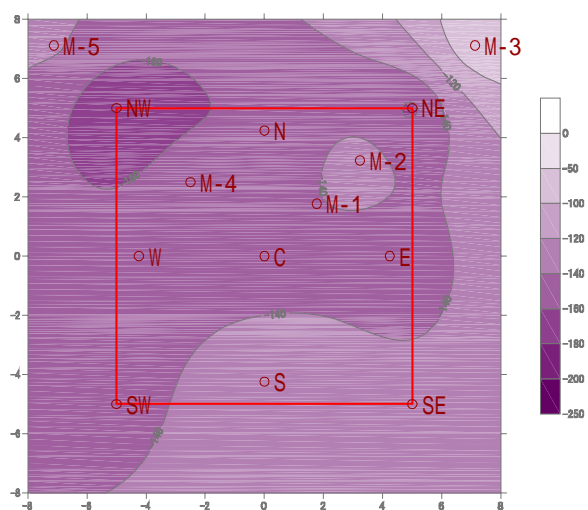
循環工程終了87日後 (H22/9/14)



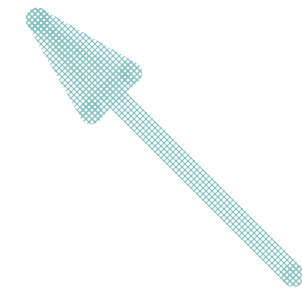
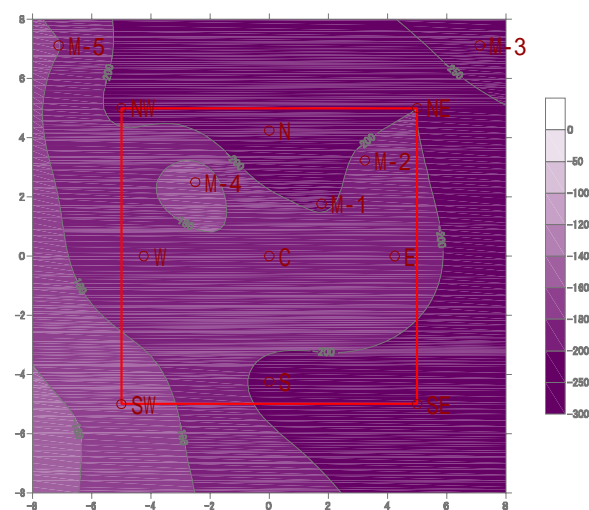
循環工程終了101日後 (H22/9/28)



循環工程終了115日後 (H22/10/12)



循環工程終了129日後 (H22/10/26)

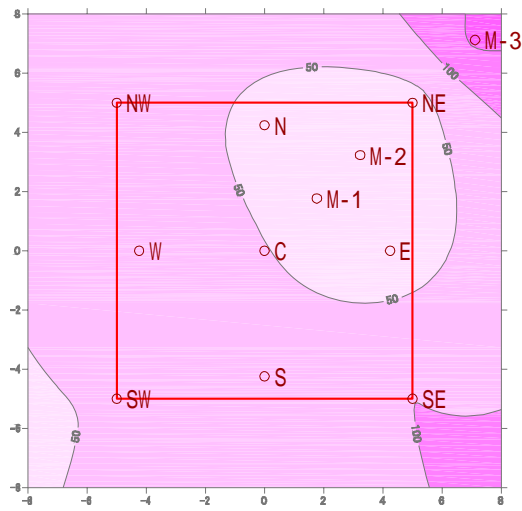


地下水流向：北西流  
(おおよそ图中SEからNWへの流れ)

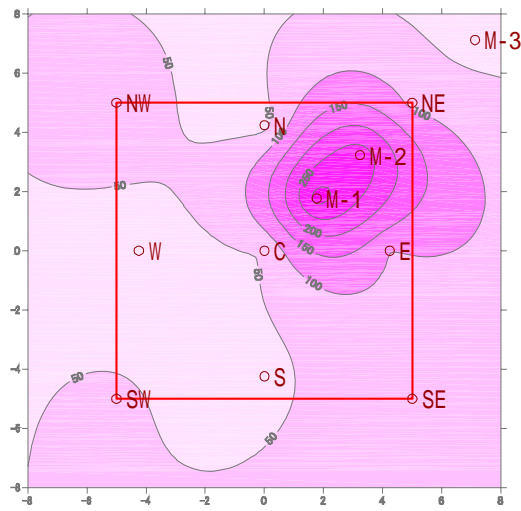
# 地下水主要測定項目測定結果 領域内平面分布変化グラフ

## 測定項目：硫酸イオン (mg/L)

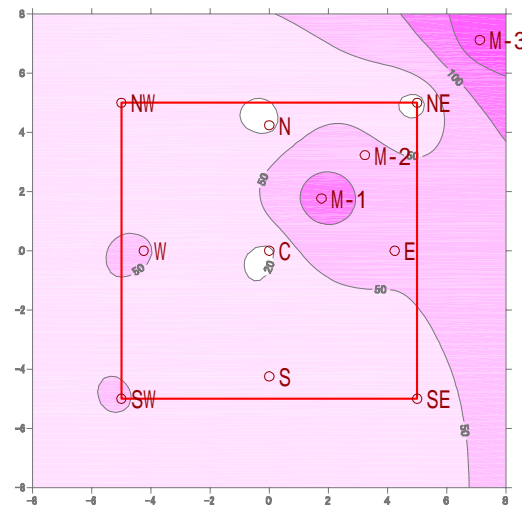
初期注入前 (H22/5/21)



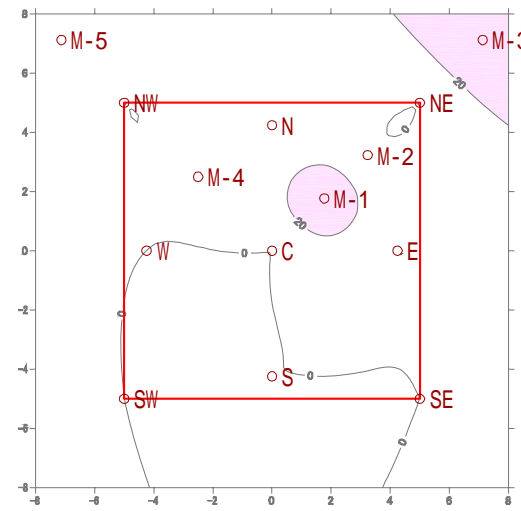
初期注入完了3時間後 (H22/5/23)



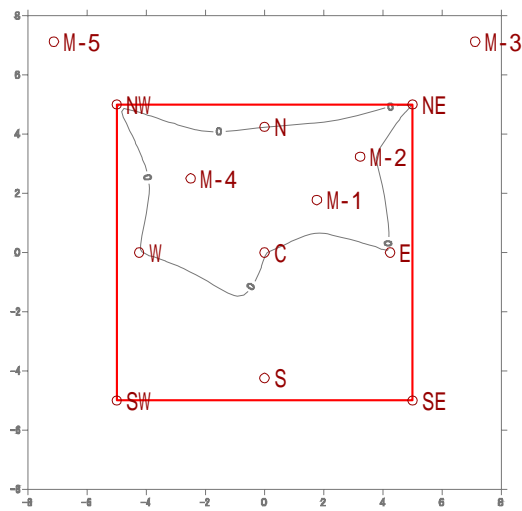
循環工程終了3日後 (H22/6/22)



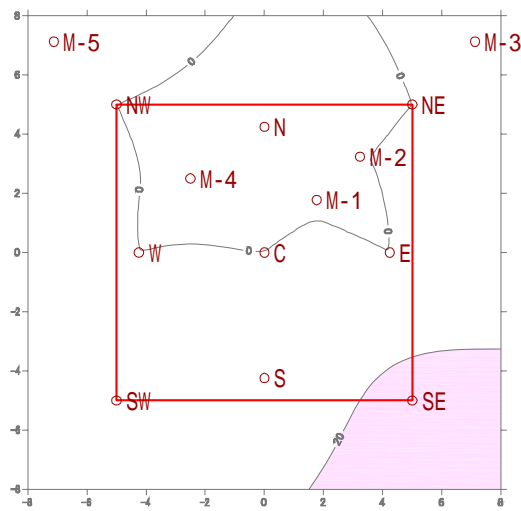
循環工程終了31日後 (H22/7/20)



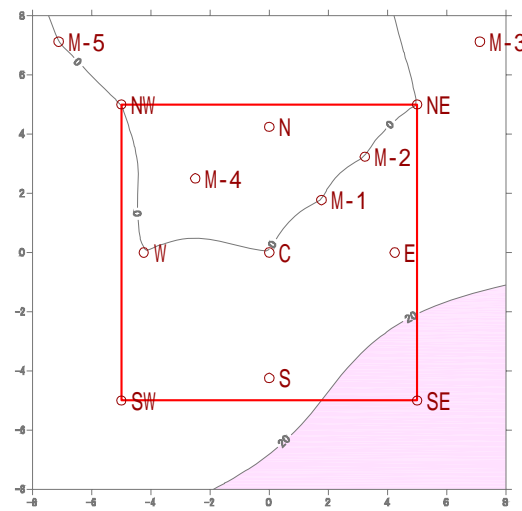
循環工程終了46日後 (H22/8/4)



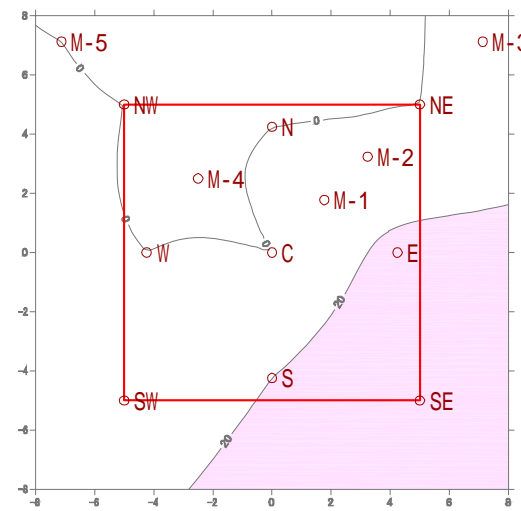
循環工程終了59日後 (H22/8/17)



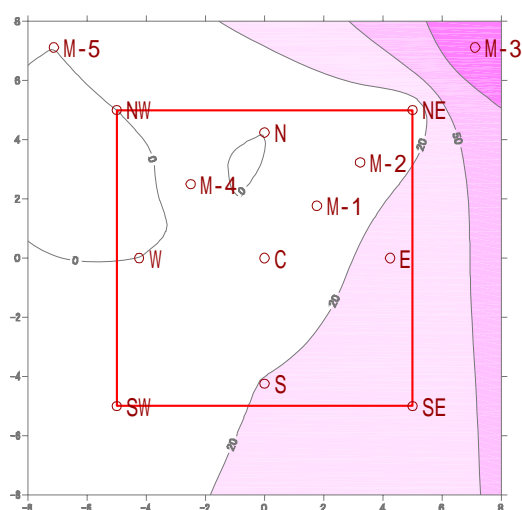
循環工程終了73日後 (H22/8/31)



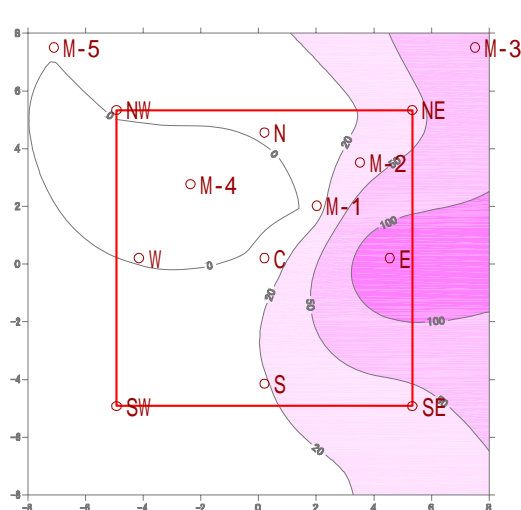
循環工程終了87日後 (H22/9/14)



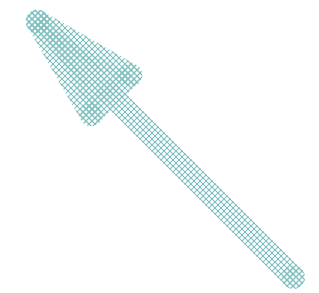
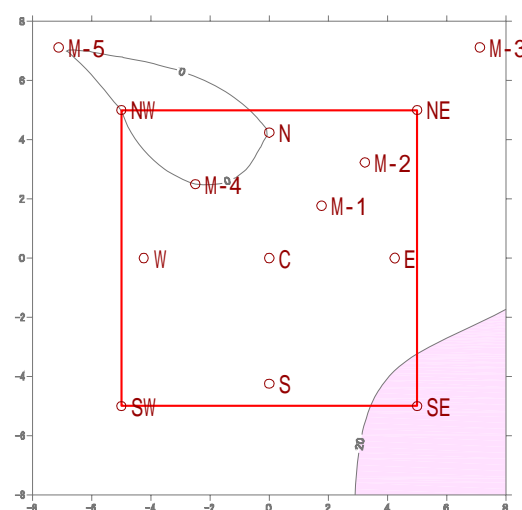
循環工程終了101日後 (H22/9/28)



循環工程終了115日後 (H22/10/12)



循環工程終了129日後 (H22/10/26)



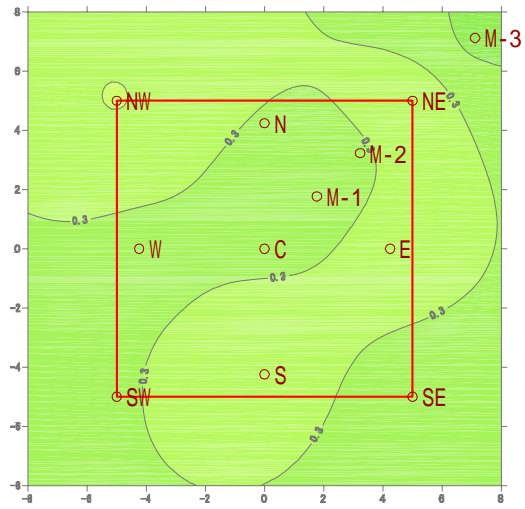
地下水流向：北西流  
 (おおよそ图中SEからNWへの流れ)



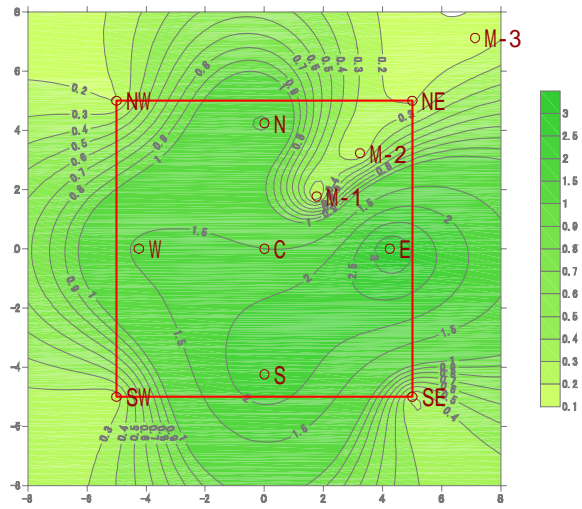
# 地下水主要測定項目測定結果 領域内平面分布変化グラフ

## 測定項目：臭素イオン (mg/L)

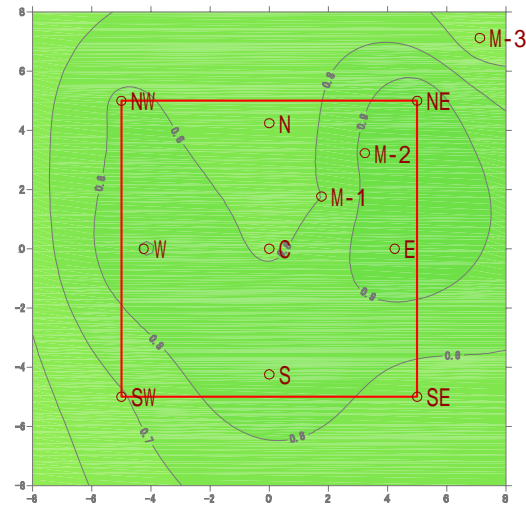
初期注入前 (H22/5/21)



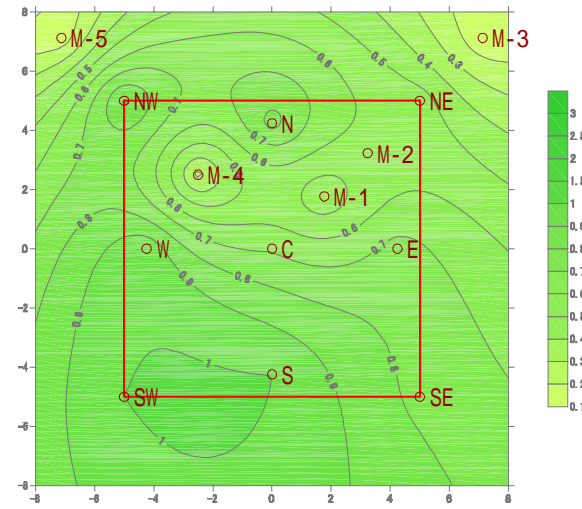
初期注入完了3時間後 (H22/5/23)



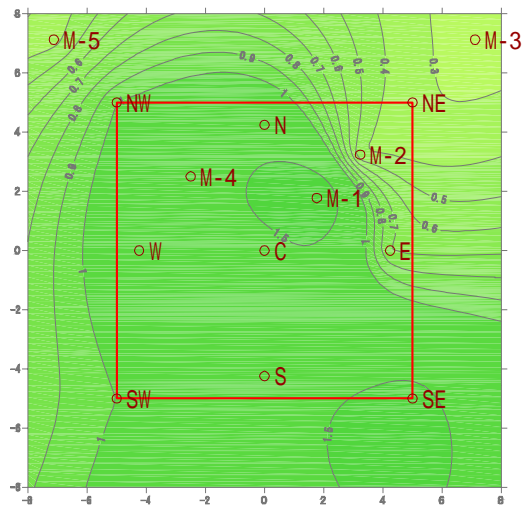
循環工程終了3日後 (H22/6/22)



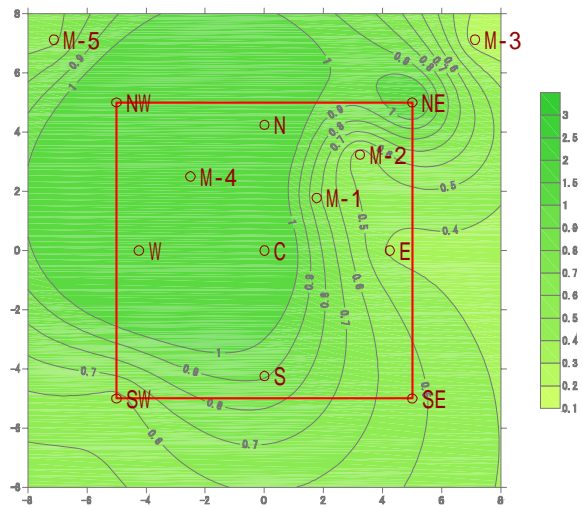
循環工程終了31日後 (H22/7/20)



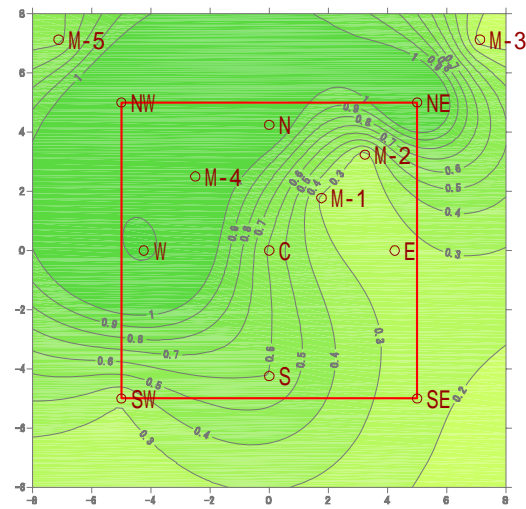
循環工程終了46日後 (H22/8/4)



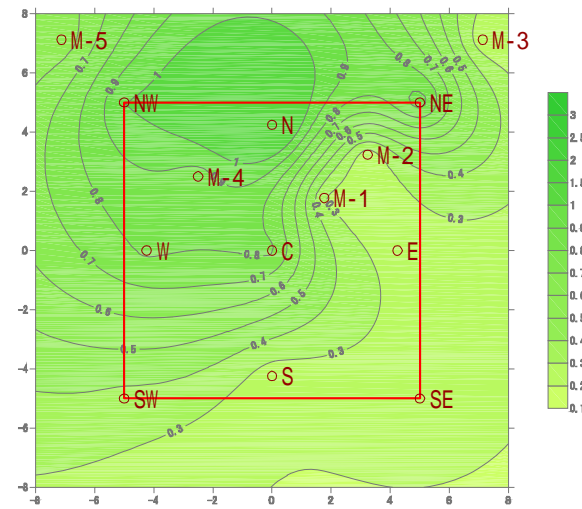
循環工程終了59日後 (H22/8/17)



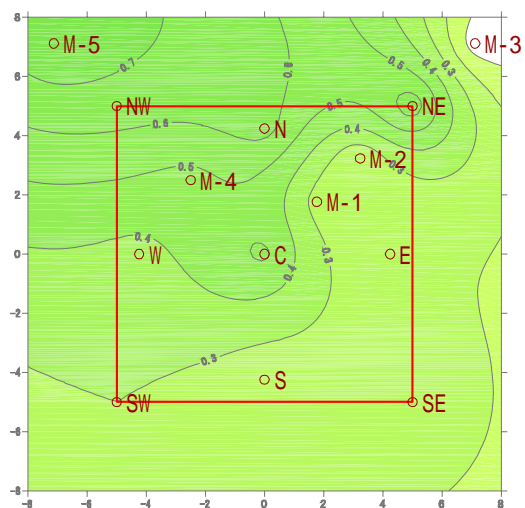
循環工程終了73日後 (H22/8/31)



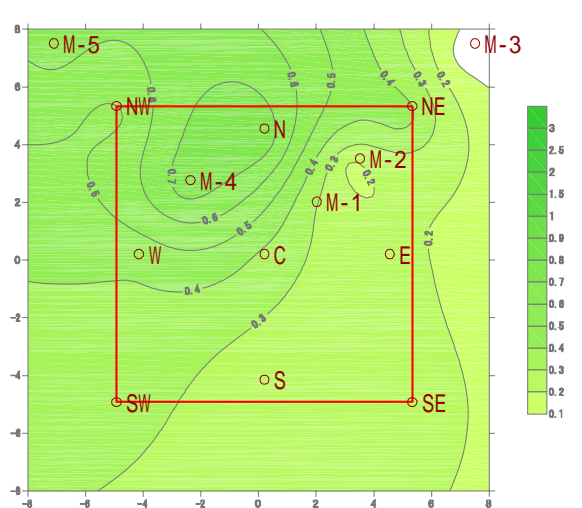
循環工程終了87日後 (H22/9/14)



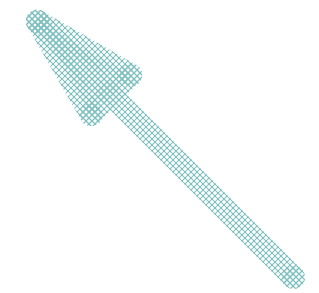
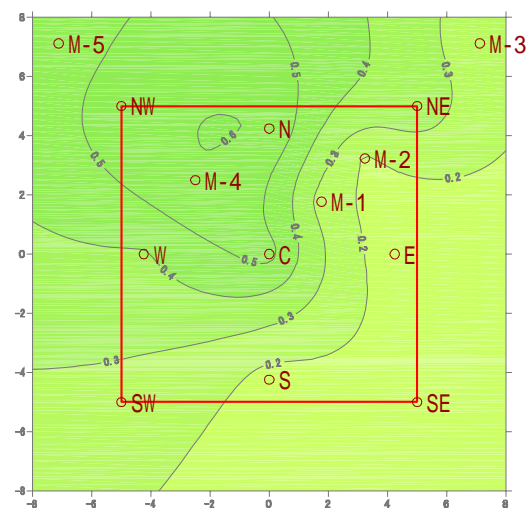
循環工程終了101日後 (H22/9/28)



循環工程終了115日後 (H22/10/12)



循環工程終了129日後 (H22/10/26)



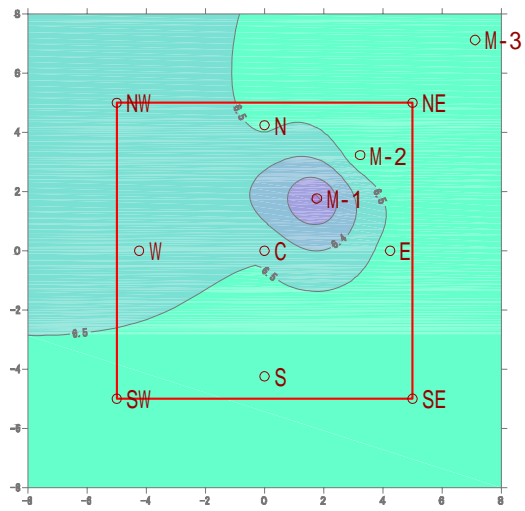
地下水流向：北西流  
(おおよそ图中SEからNWへの流れ)



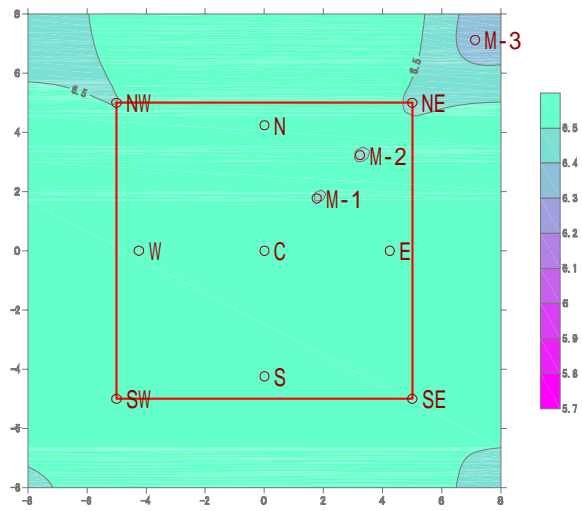
# 地下水主要測定項目測定結果 領域内平面分布变化グラフ

## 測定項目：pH

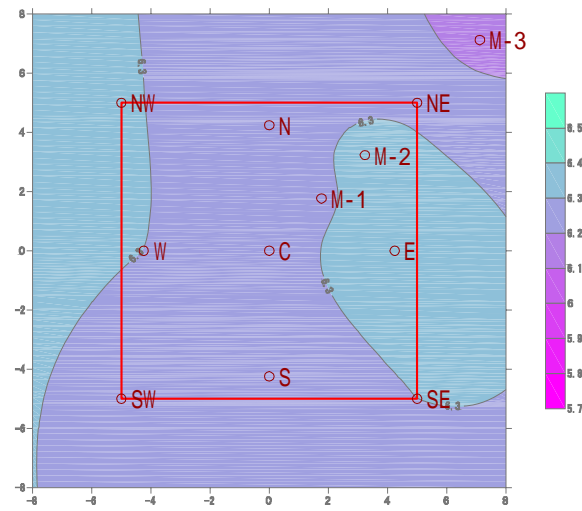
初期注入前 (H22/5/21)



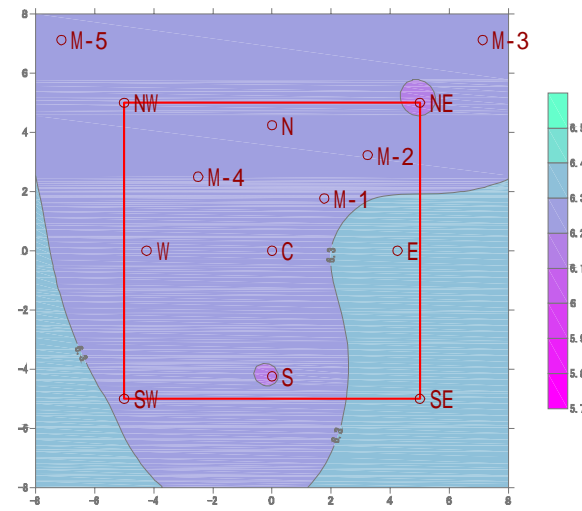
初期注入完了3時間後 (H22/5/23)



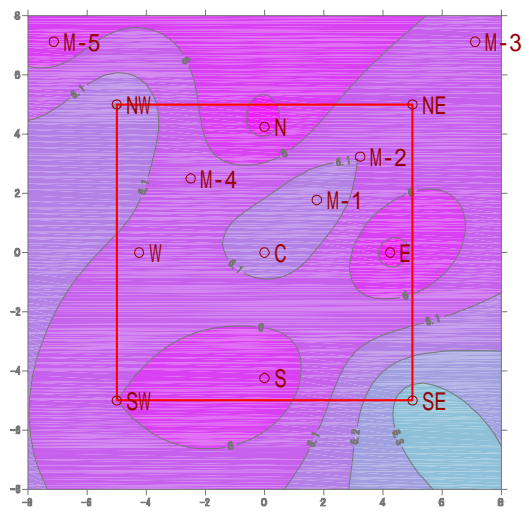
循環工程終了3日後 (H22/6/22)



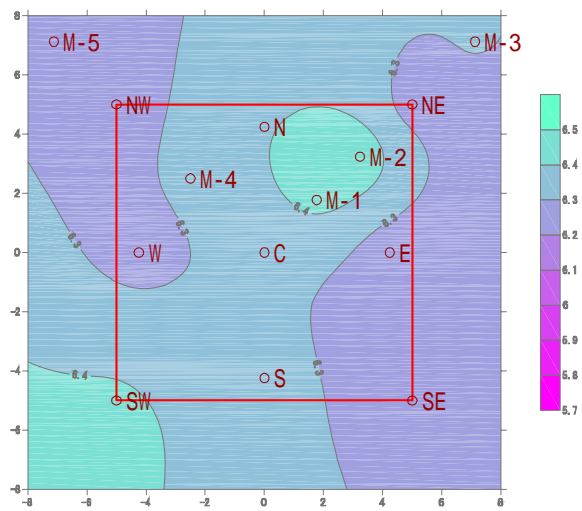
循環工程終了31日後 (H22/7/20)



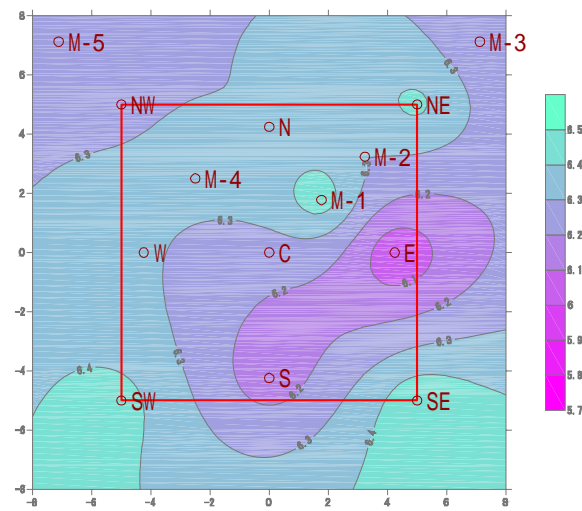
循環工程終了46日後 (H22/8/4)



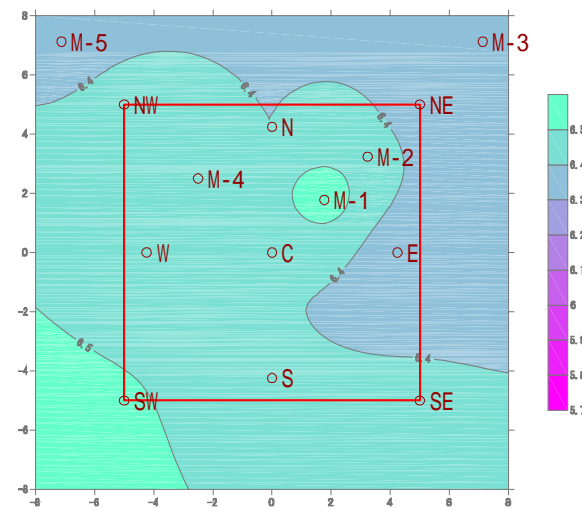
循環工程終了59日後 (H22/8/17)



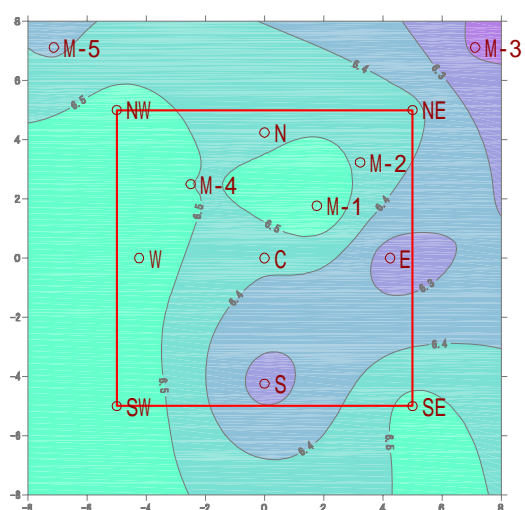
循環工程終了73日後 (H22/8/31)



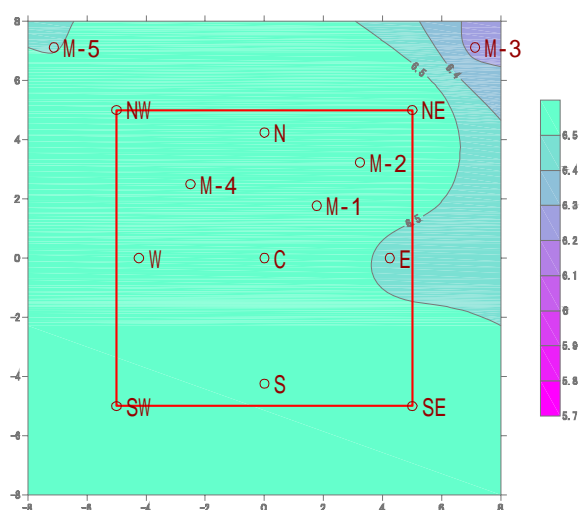
循環工程終了87日後 (H22/9/14)



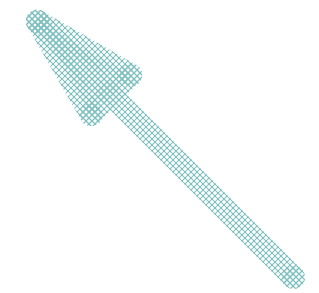
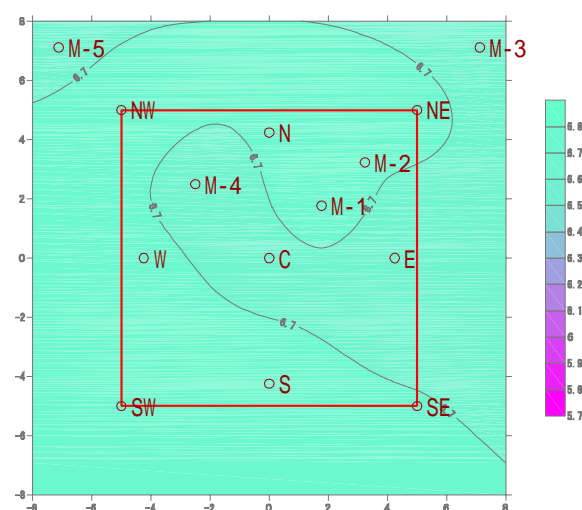
循環工程終了101日後 (H22/9/28)



循環工程終了115日後 (H22/10/12)



循環工程終了129日後 (H22/10/26)



地下水流向：北西流  
(おおよそ图中SEからNWへの流れ)

現地パイロット試験 土壌汚染確認試験（地質ボーリング及び土壌溶出量試験）

(1) 着工前分析

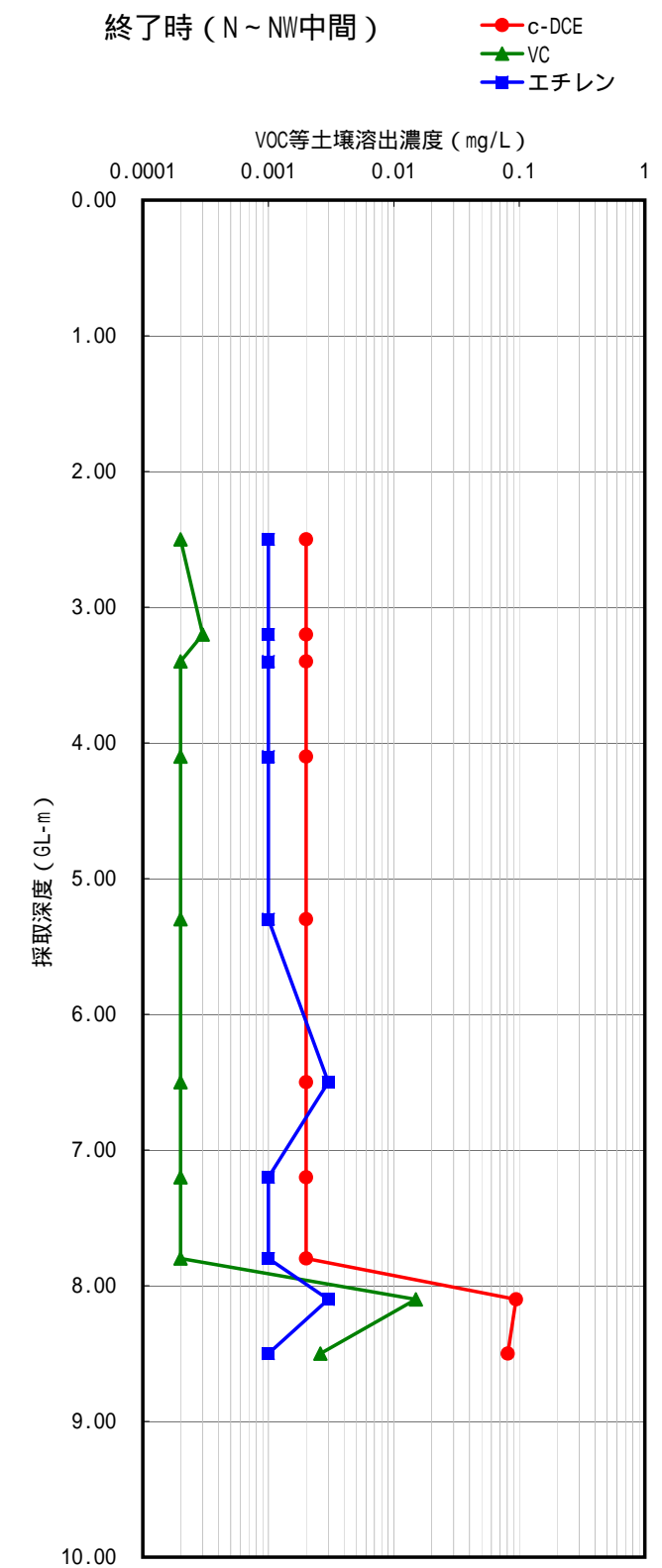
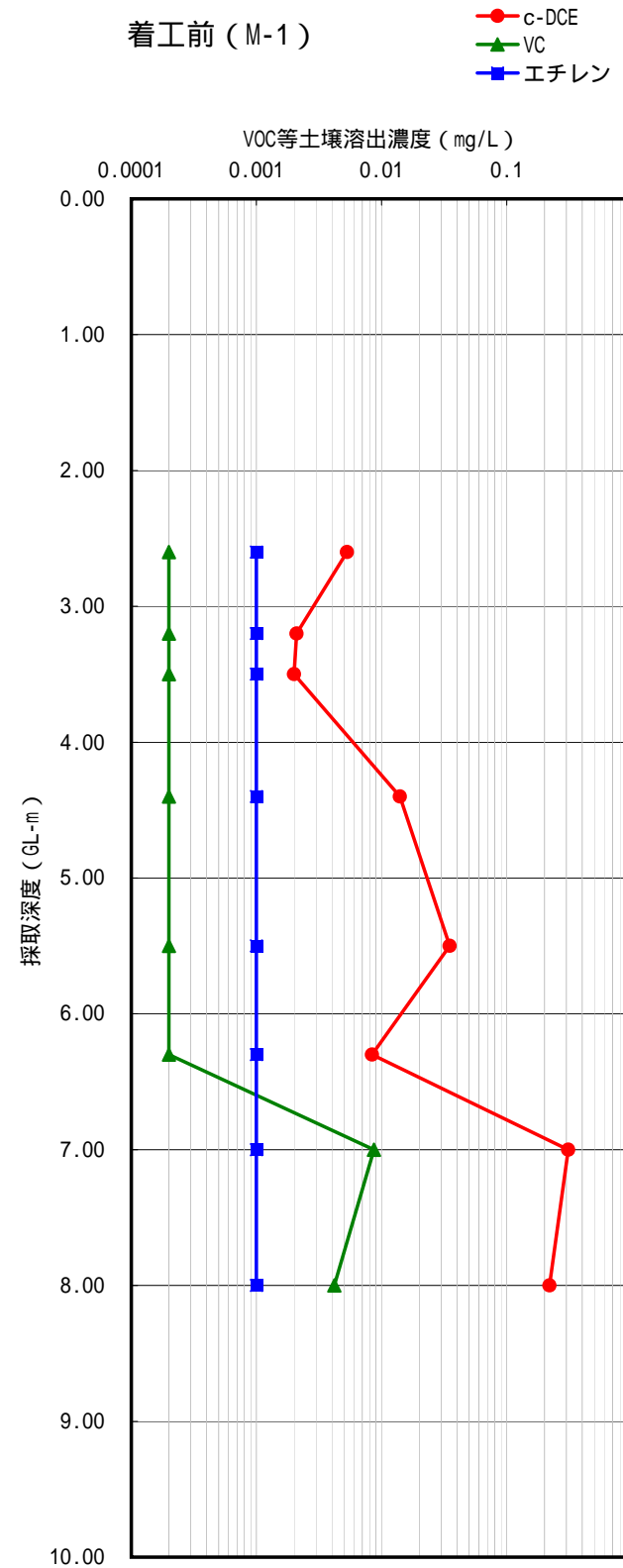
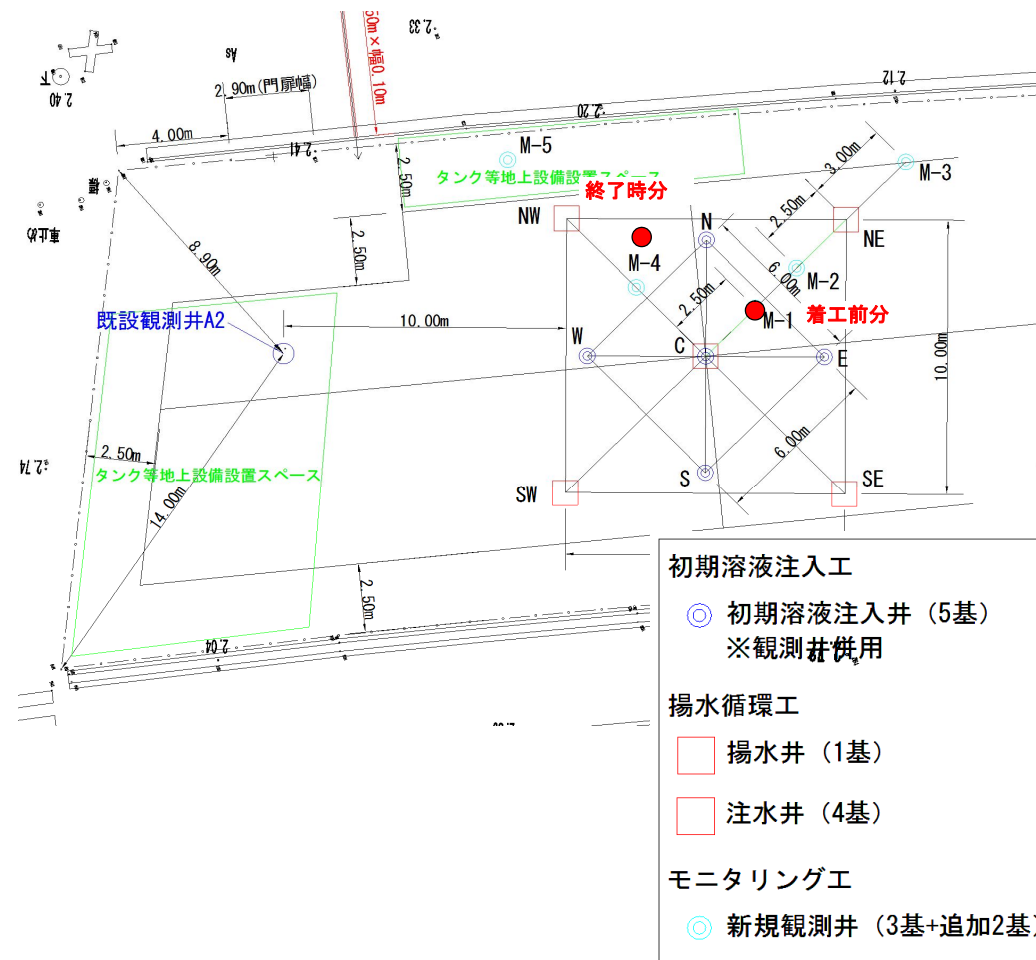
採取日 平成22年5月12日  
採取地点 M-1

試料採取深度 (GL-m)	土壌溶出量分析結果					
	テトラクロロエチレン (mg/L)	トリクロロエチレン (mg/L)	t-)1,2-ジクロロエチレン (mg/L)	c-)1,2-ジクロロエチレン (mg/L)	塩化ビニルモノマー (mg/L)	エチレン (mg/L)
2.60	<0.0002	<0.0002	<0.0002	0.0053	<0.0002	<0.001
3.20	<0.0002	<0.0002	<0.0002	0.0021	<0.0002	<0.001
3.50	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.002	<0.0002	<0.001
4.40	<0.0002	<0.0002	0.0002	0.014	<0.0002	<0.001
5.50	<0.0002	<0.0002	0.0010	0.035	<0.0002	<0.001
6.30	<0.0002	<0.0002	<0.0002	0.0084	<0.0002	<0.001
7.00	<0.0002	<0.0002	0.0060	0.31	0.0087	<0.001
8.00	<0.0002	<0.0002	0.0009	0.22	0.0042	<0.001

(2) 終了時分析

採取日 平成22年11月18日  
採取地点 N~NW中間地点

試料採取深度 (GL-m)	土壌溶出量分析結果					
	テトラクロロエチレン (mg/L)	トリクロロエチレン (mg/L)	t-)1,2-ジクロロエチレン (mg/L)	c-)1,2-ジクロロエチレン (mg/L)	塩化ビニルモノマー (mg/L)	エチレン (mg/L)
2.50	<0.0005	<0.002	<0.002	<0.002	<0.0002	<0.001
3.20	<0.0005	<0.002	<0.002	<0.002	0.0003	<0.001
3.40	<0.0005	<0.002	<0.002	<0.002	<0.0002	<0.001
4.10	<0.0005	<0.002	<0.002	<0.002	<0.0002	<0.001
5.30	<0.0005	<0.002	<0.002	<0.002	<0.0002	<0.001
6.50	<0.0005	<0.002	<0.002	<0.002	<0.0002	0.003
7.20	<0.0005	<0.002	<0.002	<0.002	<0.0002	<0.001
7.80	<0.0005	<0.002	<0.002	<0.002	<0.0002	<0.001
8.10	<0.0005	<0.002	<0.002	0.094	0.015	0.003
8.50	<0.0005	<0.002	<0.002	0.081	0.0026	<0.001



# ボーリング柱状図

調査名 平成21年度地下水汚染浄化実証試験業務

ボーリングNo. M-1

事業・工事名 現地パイロット試験

シートNo. M-1

ボーリング名	M-1	調査位置	大阪府吹田市南吹田1丁目 地先		北緯
発注機関	吹田市	調査期間	平成22年5月12日～22年5月12日		東経
調査業者名	中央開発株式会社 関西支社 電話(06-6386-3691)	現場代理人	松尾 賢太郎	コア鑑定者	松尾 賢太郎
孔口標高		試験機	ECO-V	ハンマー	
総掘進長	8.50m	エンジン		落下用具	ポンプ
方位	北 0° 東 90° 南 180° 西 270°	地盤勾配	水平 0°		
角 度	180° 上 90° 0° 下				

標尺	層厚	深度	柱状図	土質区分	色	相対密度	相対稠度	記	孔内水位 m / 測定月日	土壌溶出量試験結果		掘進月日	
										試験採取	室内試験( )		
m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	採取方法	番号	m	
1	0.60	0.60	埋土・ 礫混じり砂	灰褐色				上部0.20m草根混入。 細砂主体。礫混入。 シルト少量混入。 含水少ない。	5/12 2.77	採取方法		2.55 2.65	5/12
2	0.80	1.40	埋土・ 礫混じり砂	灰褐色 茶褐色				中～粗砂主体。 下部ほど粗砂優勢。 2～30mmの亜角～円礫混入。 含水少ない。		採取方法		3.15 3.25 3.45 3.55	5/12
3	0.70	2.10	砂質シルト	茶褐色 暗灰				細砂多量に混入。 色調不均一。 含水少ない。		採取方法		4.35 4.45	5/12
4	0.25	2.35	砂混じり粘土	暗灰				粘性中位。 細砂混入。 含水少ない。		採取方法		5.45 5.55	5/12
5	0.65	3.00	砂	淡褐色 暗灰				中～粗砂主体。 下部ほど中砂優勢。 全体に雲母片混入。 含水中位。		採取方法		6.25 6.35	5/12
6	0.40	3.40	シルト混じり砂	暗灰				全体に少量のシルト、雲母片混入。 腐植物混入。 含水中位。		採取方法		6.95 7.05	5/12
7	0.30	3.70	砂	暗灰				中～粗砂主体。 全体に雲母片混入。 含水中位。		採取方法		7.95 8.05	5/12
8	0.90	4.60	シルト混じり砂	暗灰				所々、シルト薄層状に混入。 含水中位。		採取方法			
9	1.20	5.80	砂	暗灰				細砂主体。 全体に雲母片混入。 Gl-5.40～5.60m、シルト薄層状に混入。 含水中位。		採取方法			
10	1.10	6.90	砂	暗灰				中～粗砂主体。 下部ほど粗砂優勢。 全体に雲母片混入。 含水多い。		採取方法			
11	0.30	7.20	シルト質砂	暗灰				細～粗砂主体。粒径は不均質。 含水中位。		採取方法			
12	1.30	8.50	砂質シルト	暗灰				全体に細砂、雲母片、貝片混入。 Gl-7.60m付近までサンドパイプ状に細砂混入。 下部ほど粘土分含むようになり、粘性強くなる。 含水中位。		採取方法			





試験領域内における平均的な地下水流速と促進剤の流出状況について

測定日ごとに観測された各井戸の地下水位より、試験領域内の地下水流向は概ね北西流であることが確認された。これより、試験領域内の平均的な動水勾配および地下水流速を下記のとおりに求めた。

ここで、透水係数  $k$  は、平成 20 年度調査結果のうち、観測井 No.27 設置時に採取した砂質土試料の粒度試験結果から得られた、 $2.75 \times 10^{-3}$  (cm/sec) を代表値として採用した。間隙率は 0.40 と仮定した。

1) 動水勾配

$$i = H/L$$

= (井戸 SE の孔内地下水位 - 井戸 NW の孔内地下水位) / 井戸 SE ~ NW の距離

2) 地下水流速

$$v = ki/n$$

= (帯水層の透水係数 × 動水勾配) / 間隙率

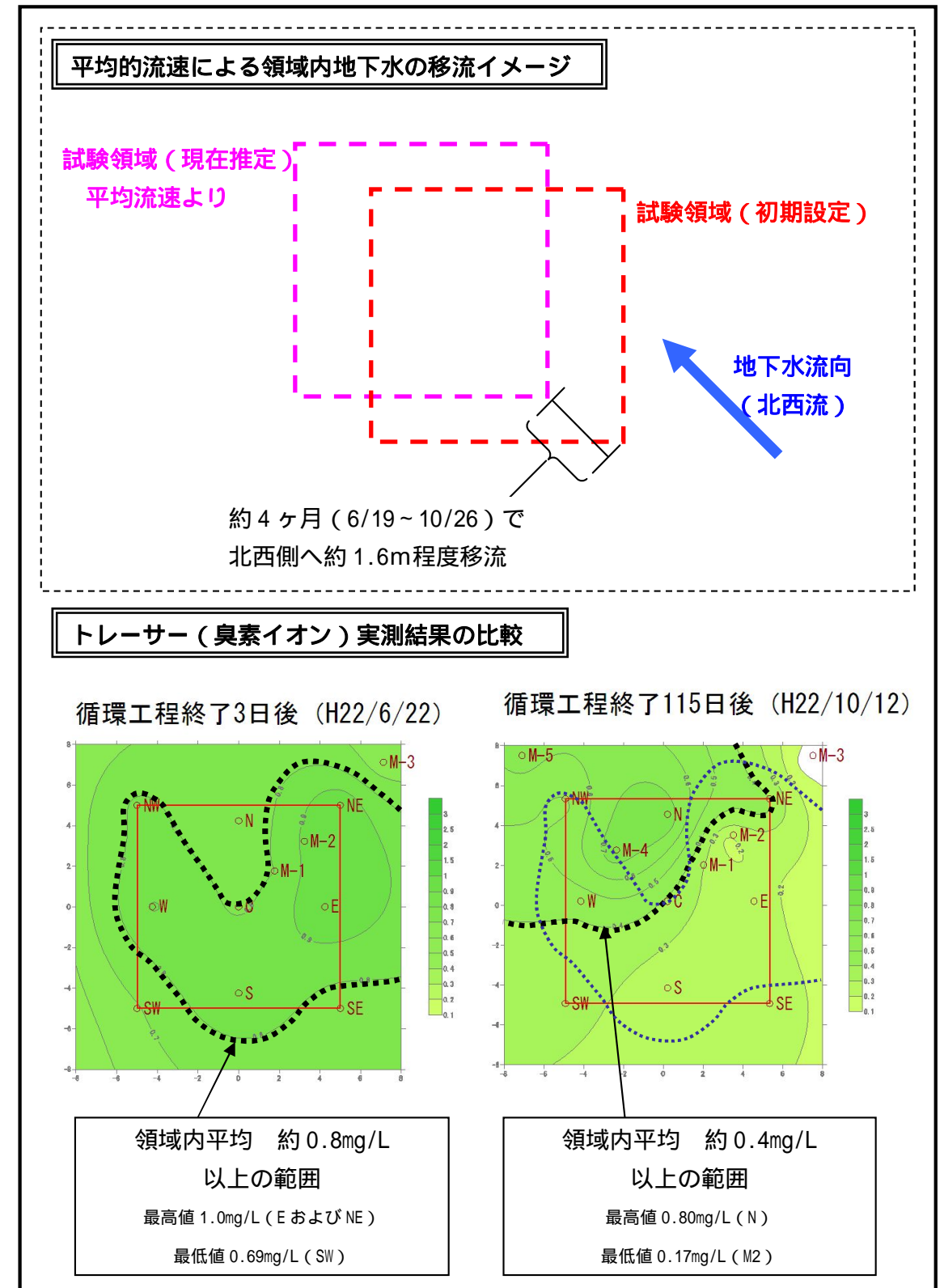
測定日		孔内地下水位 (OP m)		水位差 (m)	動水勾配	地下水流速 (m/年)	備考
		SE	NW				
5月21日	初期注入直前	1.684	1.634	0.05	3.5E-03	7.7	
5月23日	初期注入直後	1.784	1.744	0.04	2.8E-03	6.1	
6月22日	循環完了3日後	2.006	2.005	0.00	7.1E-05	0.2	最小値
7月20日	循環完了31日後	1.956	1.965	-0.01	-6.4E-04	-1.4	除外
8月4日	循環完了46日後	1.746	1.725	0.02	1.5E-03	3.2	
8月17日	循環完了59日後	1.736	1.705	0.03	2.2E-03	4.8	
8月31日	循環完了73日後	1.656	1.615	0.04	2.9E-03	6.3	
9月14日	循環完了87日後	1.636	1.625	0.01	7.8E-04	1.7	
9月28日	循環完了101日後	1.946	1.895	0.05	3.6E-03	7.8	最大値
10月12日	循環完了115日後	2.026	2.035	-0.01	-6.4E-04	-1.4	除外
平均値 (5月21日 ~ 9月28日)					2.2E-03	4.7	
平均値 (8月17日 ~ 9月28日)					2.2E-03	4.8	

計算の結果、平成 20 年度調査結果を基に事前に見込んだ、北東へ 13.1m/年 (1.10m/月) という値に対して、試験期間中の平均的な地下水流速は北西へ約 4.8m/年 (0.40m/月) となり、その流速は緩やかであることが導かれた (地下水流向の逆向が確認された 7月 20日、10月 12日の測定結果は除外)。

この結果と照らして、試験領域のトレーサー (臭素イオン) 濃度の分布について見ると、地下水中での拡散効果や降雨による希釈効果に関する議論の余地はあるものの、推定よりも早い移流状況が類推される分布状況を示しているものと判断される。要因としては、試験期間が多雨期と重なったため、局所的に地下水流速が大きくなっていったことなどが考えられる。

また、別途、促進剤濃度に替えて測定を行っている地下水中 TOC 濃度と臭素イオン濃度について、測定日ごとに相関を確認したところ、循環工程終了後の一時期を除き、両

者の相関は比較的強いことが確認された。この結果から、試験期間を通じて、促進剤が領域外へ流出しており、今後も、さらなる促進剤の領域外へ流出することが懸念される。



## 1. 土壌中の有機炭素含有量から推定される主要汚染物質の遅延係数

ある水溶物質の移流速度が、地下水の移流速度に対して何分の1になるかを表す無次元の指数。一般に下記の式で表される。

これより、特定の土粒子密度、間隙率等を有する地域における、地下水中の水溶物質の移流速度は、その水溶物質固有の分配係数および土壌中の有機炭素含有量により変動し、土壌中の有機炭素含有量を多いほど、遅延係数は大きくなる傾向を示す。

$$\text{遅延係数 (Retardation Factor)} \quad R = 1 + r_b k_d / q$$

R = retardation factor

$r_b$  = bulk density =  $r_s(1-q)$

$r_s$  = solids density

q = porosity

$k_d$  = (soil) distribution coefficient =  $f_{oc} K_{oc}$

$f_{oc}$  = fraction organic carbon

$K_{oc}$  = organic carbon/water partition coefficient

(参照URL:<http://www.epa.gov/athens/learn2model/part-two/onsite/retard.html>)

次頁に、土粒子の密度  $r_s = 2.65\text{g/cm}^3$ 、間隙率  $q = 0.40$  と仮定した場合の、当該地域における汚染物質各種の遅延係数の計算結果一覧を示す。

ここで、当該地域で採取した代表土壌試料中の有機炭素含有量は0.1%以下であったが、遅延係数と有機炭素含有量の相関の確認のため、実測値(0.1%以下)に対して、10倍(1.0%)、100倍(10%)であった場合についても、併せて計算を実施した。

なお、各物質の分配係数  $K_{oc}$  は上記WEBページにて参照可能なもののうち、EPA Soil Screening Guidance で示されているものを採用した。

対象物質	土壌中の有機炭素含有量		
	0.10% (実測値)	1.0%	10%
テトラクロロエチレン	1.6	7.2	63
トリクロロエチレン	1.7	7.6	67
1,1-ジクロロエチレン	1.2	3.3	24
(c-)1,2-ジクロロエチレン	1.1	2.4	15
(t-)1,2-ジクロロエチレン	1.2	3.1	52.5
塩化ビニルモノマー	1.1	1.7	8.4
【参考】ベンゼン	1.2	3.3	24
【参考】トルエン	1.7	8.2	73

## 2. 対策対象物質の遅延係数に基づく浄水置換工法の適用性

### (1) 土壌中の有機炭素含有量と遅延係数の関係

一般に、土壌中の有機炭素含有量は、その堆積物の起源、堆積環境により、1%未満から数十%オーダーと広範な値を示すが、それらが体系的に整理された資料の収集は困難であるため、前述のとおり、実測値(0.1%以下)に対して、10倍(1.0%)、100倍(10%)であった場合についても、併せて計算を実施した。

遅延係数計算結果一覧から、当該地域における、(c-)1,2-ジクロロエチレンの遅延係数について見てみると、代表実測値(有機炭素含有量0.1%)から求められる遅延係数が1.1であるのに対して、有機炭素含有量が多くなるにつれ、その値は2.4(有機炭素含有量10倍の場合)、15(有機炭素含有量100倍の場合)と大きな値を示すことが確認された。

以上の比較より、当該地域の地質条件は、主たる汚染物質である(c-)1,2-ジクロロエチレンの拡散に対して、有機炭素分の含有により大きく遅延を生じうる条件ではないと推察される。

### (2) 汚染物質の分配係数と遅延係数の関係

次に、当該地域における汚染原因物質(工場内における使用物質)であるテトラクロロエチレン、トリクロロエチレンと現在当該地域において広範囲に流出・拡散した(c-)

1,2-ジクロロエチレンの遅延係数の比較を行う。

テトラクロロエチレン、トリクロロエチレンがそれぞれ遅延係数 1.6、1.7 を示すのに対して、前述の通り、(c-)1,2-ジクロロエチレンは遅延係数 1.1 を低い値を示す。

これより、テトラクロロエチレン、トリクロロエチレンに対して、(c-)1,2-ジクロロエチレンが比較的地下水流動に追従した挙動を期待しやすい物質であることを示すものと考えられる。

### (3) 当該地域における浄水置換工法の適用性

浄水置換工法の適用性について判断する際には、浄水注入による、一定の汚染物質の排除(押し出し)効果を期待する必要があるが、今回はその指標として、対象物質の遅延係数を採用した。

(1) に示した結果から、当該地域においては、有機炭素分の含有により大きく遅延を生じる可能性は低いものと考えられ、その適用性は比較的高いものと推察される。

(2) に示した結果から、汚染原因物質であるテトラクロロエチレン、トリクロロエチレンに対して、(c-)1,2-ジクロロエチレンが比較的地下水流動に追従した挙動を期待しやすい物質であることから、工場敷地外へ流出・拡散した(c-)1,2-ジクロロエチレンによる汚染に対しては、その適用性は比較的高いものと推察される。

一方、工場内に残存するテトラクロロエチレン、トリクロロエチレンによる汚染への対策としては、その適用性が低くなることも逆説的に示すこととなると考えられる。