

S3-26 土壤汚染調査・対策におけるCO₂排出量の把握

○亀谷美智康・佐藤秀之・大村啓介・小関喜憲・崎原盛・CO₂排出量検討部会
(社)土壤環境センター

1. はじめに

地球温暖化問題は、持続可能な発展を続けていくために重要な課題である。CO₂排出量の削減は、その対策の一つであり、種々の取り組みがなされている。平成9年開催の気候変動枠組み条約第3回締約国会議において採択された温室効果ガスの削減を定めた「京都議定書」に基づき、我が国では、平成18年に「京都議定書目標達成計画」が閣議決定され、「環境負荷低減」への考えが急速に広まってきている。そこで、当部会でも環境修復に携わっている関係者として土壤・地下水汚染調査・対策に伴い使用される重機、分析機器類のエネルギー消費に伴うCO₂排出量について、モデルケースを用いて試算を行った。本報告では、調査・分析・対策のCO₂排出量試算結果について報告する。

2. 試算の考え方

土壤汚染対策法に基づく土壤・地下水汚染調査・対策は、図-1に示すプロセスフローで行われる。土壤・地下水汚染調査・対策に係るプロセスは点線の範囲であるが、本報告では、場外処分、施設の維持管理等を除いた実作業に係る実線の範囲についてCO₂排出量を試算することとした。

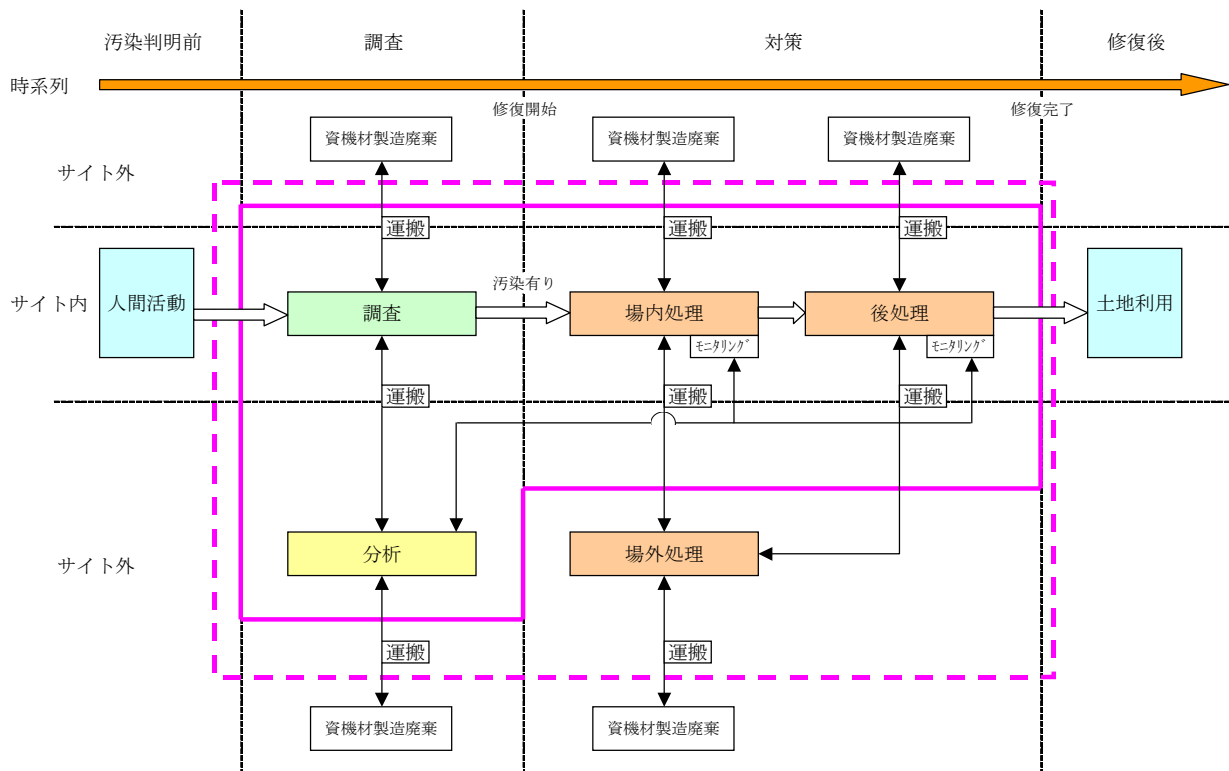


図-1 プロセスフロー及び試算範囲(システム境界)

Verification Report of Carbon Footprint for Site Investigation and Remedial Treatment of Contaminated Land

Michiyasu Kamegai, Hideyuki Sato, Keisuke Ohmura, Yoshinori Koseki, Sakari Sakihara (GEPC.)

連絡先：〒102-0083 東京都千代田区麴町4丁目2番地 第二麴町ビル7階

TEL03-5215-5955 FAX03-5215-5954 Email: info@gepc.or.jp

(1) 数量の設定

試算は、各プロセスにおける機械、資材、材料の数量を設定し、それぞれの排出原単位を乗じる「積み上げ計算」にて行うこととした。

(2) 原単位

燃料ごとの CO₂ 排出係数は、以下を用いた。

表-1 排出係数一覧¹⁾

	排出係数 α		発熱量 β		参考
	数値	単位	数値	単位	二酸化炭素排出量
イ：燃料の燃焼に伴う排出					
ガソリン	0.0183	(kg-C/MJ)	34.6	(MJ/L)	2.32(kg-CO ₂ /L)に相当
軽油	0.0187	(kg-C/MJ)	38.2	(MJ/L)	2.62(kg-CO ₂ /L)に相当
ロ：他人から供給された電気の使用に伴う排出					
	0.555	(kg-CO ₂ /kWh)			

(3) 計算方法

使用した式を以下に示す。

<調査>

ボーリングマシンのエネルギー消費に伴う CO₂ 排出量

$$\text{単位掘進長当たり軽油消費量(L/m)} = 10\text{m 当たり軽油消費量}^2) \div 10$$

$$\text{燃料使用量(L)} = \text{掘進長(m)} \times \text{単位掘進長当たり軽油消費量(L/m)}$$

$$\text{CO}_2 \text{ 排出量(kg-CO}_2) = \text{燃料使用量(L)} \times \text{燃料ごとの CO}_2 \text{ 排出係数(kg-CO}_2/\text{L)}^1)$$

<分析>

分析機器の使用時間 = 全試料数 ÷ 同時に処理できる数 × 1 回の使用時間

$$\text{CO}_2 \text{ 排出量(kg-CO}_2) = \text{分析機器の使用時間} \times \text{電力使用量(kWh)} \times \text{電気事業者別 CO}_2 \text{ 排出係数(kg-CO}_2/\text{kWh)}^1)$$

<対策>

機械のエネルギー消費による CO₂ 排出量

1) 内燃機関の燃料消費による CO₂ 排出量

$$\text{時間当り燃料消費量(L/h)} = \text{定格出力(kW)}^3) \times \text{燃料消費量(L/kWh)}^3)$$

$$\text{燃料使用量(L)} = \text{稼働時間(h)} \times \text{時間当り燃料消費量(L/h)}$$

$$\text{CO}_2 \text{ 排出量(kg-CO}_2) = \text{燃料使用量(L)} \times \text{燃料ごとの CO}_2 \text{ 排出係数(kg-CO}_2/\text{L)}^1)$$

2) 電動機、電気設備の電力消費による CO₂ 排出量

(「燃料」を「電力」に置き換えて計算する。)

$$\text{実負荷出力(kW)} = \text{定格出力(kW)}^3) \times \text{負荷率(\%)}^3)$$

$$\text{電力使用量(kWh)} = \text{稼働時間(h)} \times \text{実負荷出力(kW)}$$

$$\text{CO}_2 \text{ 排出量(kg-CO}_2) = \text{電力使用量(kWh)} \times \text{電気事業者別 CO}_2 \text{ 排出係数(kg-CO}_2/\text{kWh)}^4)$$

土壌の運搬による CO₂ 排出量

$$\text{CO}_2 \text{ 排出量} = (\text{稼働時間} \times \text{機関出力} \times \text{燃料消費率}) \times \text{燃料ごとの CO}_2 \text{ 排出係数(kg-CO}_2/\text{L)}$$

<運搬>

機材の運搬は燃料別最大積載量別燃費⁵⁾より、運搬距離にCO₂排出係数を乗じて算出した。

3. 検討モデルケース

試算のための検討モデルは、東京都の土壤汚染処理技術フォーラムで設定された「狭隘地における重金属(シアン・六価クロム)汚染モデル」を用いた。このモデルを用いて汚染状況の確認作業(調査・分析)及び、修復作業(対策)について条件を設定した上で、CO₂排出量を試算した。また、汚染状況の確認作業において発生する試料分析作業(分析)についても試算を行った。

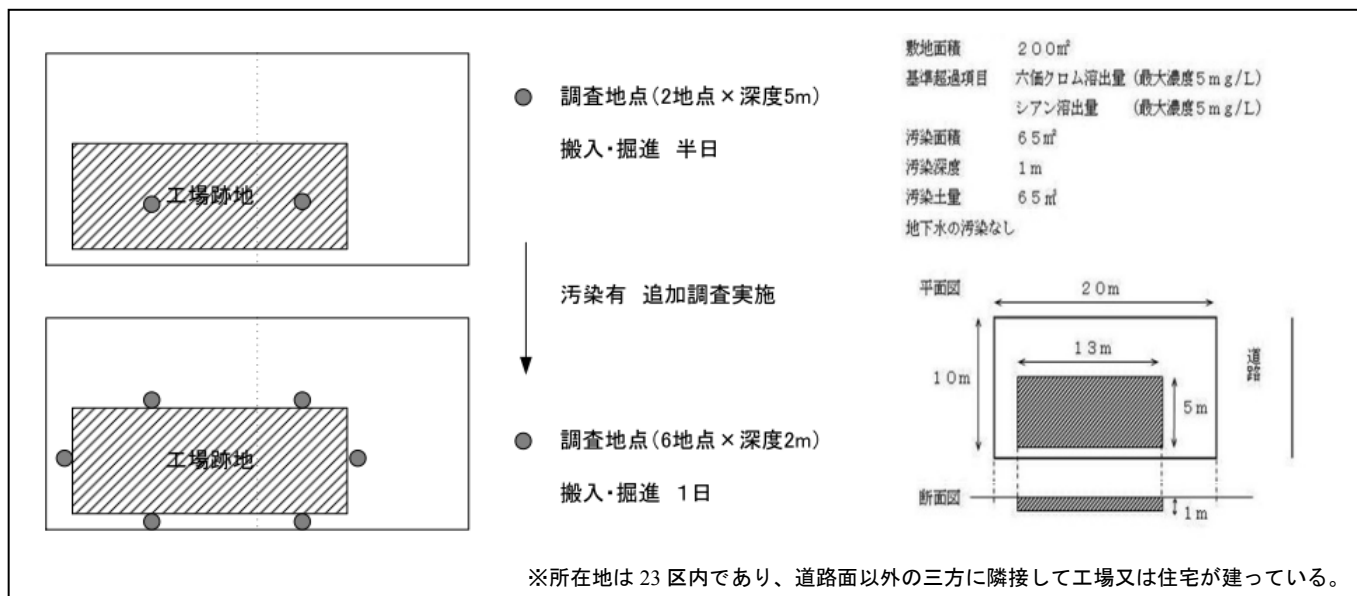


図-2 重金属(シアン・六価クロム)汚染モデル

なお、このモデルでは、敷地の面積・汚染物質・汚染範囲・濃度・帯水層が示されているが、地盤構成は示されていないため、以下の条件を追加設定し、調査および対策のシナリオを作成した。

- ・ 表層土壤調査等の調査内容(土地履歴調査は検討除外)
- ・ 機械、資材、土壌等の運搬距離
- ・ 地盤構成、地下水位

(1) 地盤構成について

地盤構成は図-3 のように設定した。

(2) 調査・分析・対策

- ・ 調査は、東京都条例の指針に基づく調査を行う場合を想定した。
- ・ 調査内容は、土壤汚染状況調査、深度調査、地下水調査とした。分析対象は、シアン・六価クロムのみとした。
- ・ 対策は、掘削除去を対象とした。

シナリオを図-4 に示す。

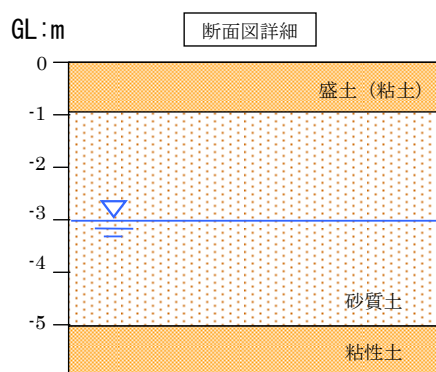


図-3 設定した地盤構成

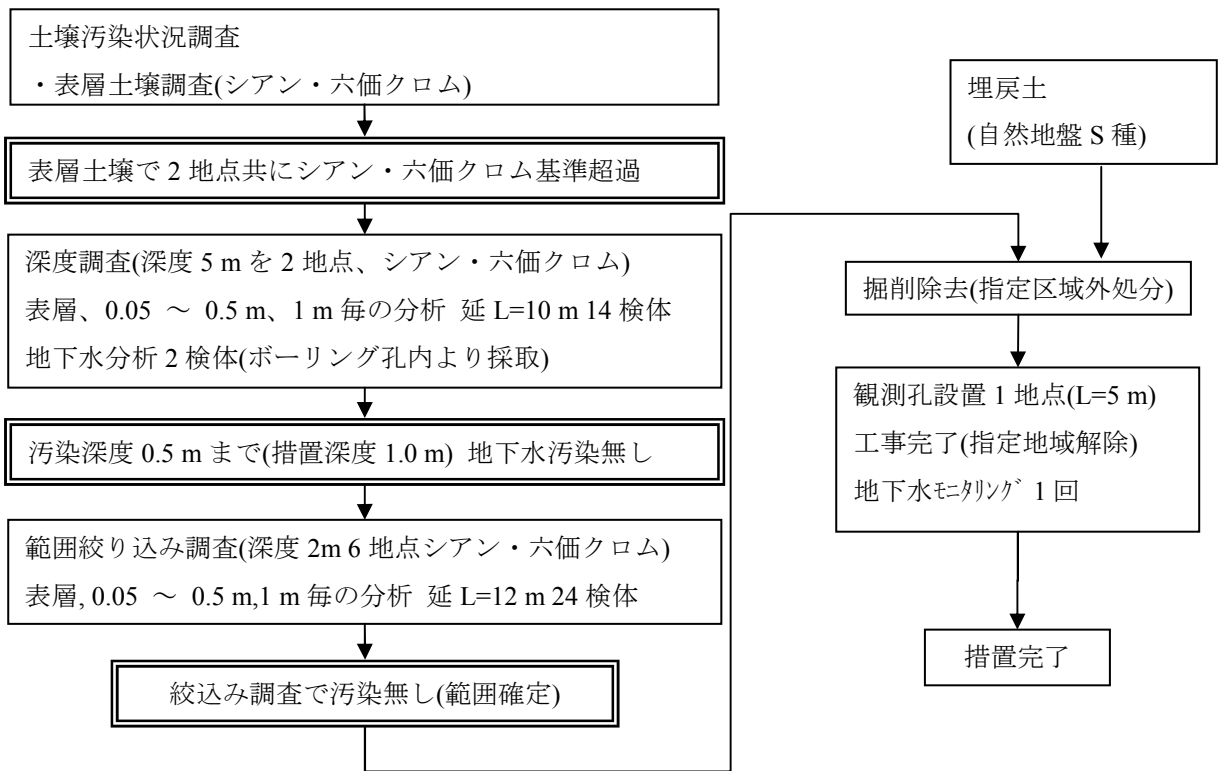


図-4 調査・分析・対策シナリオ

自然地盤S種⁶⁾

- ・品質管理データを蓄積しており、自然的原因による指定基準不適合の恐れがないとみなす採土場から搬入する土壌
- ・自然地盤を掘削した際に発生する土壌のうち、資料等調査により、自然的原因による指定基準不適合となるおそれがないとみなすことができるもの

(3) モデルケースにおける試算条件について

CO₂ 排出量の試算は、直接的な燃料消費量が把握可能なものについて行った。その他の資材の消費や機材の損耗、及び廃棄については、本試算においては検討除外とした。CO₂ 排出量の試算にあたり、設定した範囲を表-2 に示す。

表-2 各種工程のCO₂ 排出量の試算範囲

		材料機材の消費・損耗	直接的なエネルギーの使用	廃棄	備考
調査	資材の運搬	×	×	—	考慮せず
	機材の運搬	×	○	—	車両の燃料消費を考慮した
	試料採取の作業	×	○	×	機械の燃費消費を考慮した
	観測孔の設置	×	○	×	機械の燃費消費を考慮した
	地下水のサンプリング	×	×	×	考慮せず
分析	分析試料の運搬	×	×	—	今回は考慮せず
	分析作業	×	○	×	分析時間を想定して算出
	分析環境の維持	×	×	×	今回は考慮せず
対策	資材の運搬	×	○	—	車両の燃料消費を考慮した
	機材の運搬	×	○	—	車両の燃料消費を考慮した
	土壌の運搬	×	○	—	車両の燃料消費を考慮した
	仮囲い設置解体作業	×	×	×	人力のため、考慮せず
	掘削作業	×	○	×	機械の燃費消費を考慮した
	埋め戻し作業	×	○	×	機械の燃費消費を考慮した
	散水作業	×	○	×	機械の燃費消費を考慮した

○：試算上考慮、×：試算上考慮せず、—：該当せず

4. 試算結果

調査、分析、対策における CO₂ 排出量は、以下の通りであった。

表-3 調査における CO₂ 排出量

種目		調査分析 施工数量	単位エネルギー 消費量	CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂)
大項目	工種			
表層土壌 調査	機械式簡易 ボーリング	粘土1m	0.63 L/m	1.7
		砂0m	0.98 L/m	
	資機材運搬	40km	0.152 L/km	14.1
詳細調査	振動式貫入 ボーリング	粘土2m	1.05 L/m	5.5
		砂8m	1.41 L/m	29.6
	マシン運搬	40km	0.218 L/km	22.9
範囲絞り込み 調査	振動式貫入 ボーリング	粘土6m	1.05 L/m	16.5
		砂6m	1.41 L/m	22.2
	マシン運搬	40km	0.218 L/km	22.9
措置後 モニタリング	振動式貫入 ボーリング	粘土1m	1.05 L/m	2.8
		砂4m	1.41 L/m	14.8
	マシン運搬	40km	0.218 L/km	22.9
	採水器運搬	40km	0.152 L/km	14.1
合計CO ₂ 排出量				189.7

表-4 分析における CO₂ 排出量

種目		エネルギー消費量			CO ₂ 排出係数			CO ₂ 排出量	小計			
大項目	小項目	ガソリン	軽油	電力	ガソリン	軽油	電力	(kg-CO ₂)	(kg-CO ₂)			
		(L)	(L)	(kWh)	(kg-CO ₂ /L)	(kg-CO ₂ /L)	(kg-CO ₂ /kWh)					
		③=分析機器の使用時間×消費電力			④			③×④				
表層土壌調査	溶出試験	溶出液作成		3.9	2.32	2.62	0.555	2.2	3.3			
		シアン		1.8				1.0				
		六価クロム		1.7E-01				9.6E-02				
詳細調査	溶出試験	溶出液作成		1.1E+01				2.32	2.62	0.555	5.9	10.7
		シアン		5.4							3.0	
		六価クロム		1.2							6.6E-01	
	水質試験	シアン		1.8							1.0	
		六価クロム		1.7E-01							9.6E-02	
		溶出液作成		1.4E+01							7.8	
範囲絞り込み調査	溶出試験	シアン		7.2				2.32	2.62	0.555	4.0	12.9
		六価クロム		2.0	1.1							
		溶出液作成		1.4E+01	7.8							
措置後モニタリング	水質試験	シアン		1.8	2.32	2.62	0.555	1.0	1.1			
		六価クロム		8.9E-02				4.9E-02				
合計CO ₂ 排出量								27.9 (kg-CO ₂)				

表-5 対策における CO₂ 排出量

種目		調査分析 施工数量	稼働時間 (h)	機関出力 (kw)	燃料 消費率 (L/kWh)	単位 エネルギー 消費量	CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂)
大項目	工種						
仮囲い	資材搬入・搬出	80km				0.218 L/km	45.7
掘削除去	機械搬入	40km				0.382 L/km	40.0
	掘削・積込	65m ³	13.7	41.0	0.175		257.5
	汚染土運搬	65m ³ 片道 20km	78.0	135.0	0.050		1379.4
埋戻	機械搬入	40km				0.162 L/km	17.0
	埋戻土運搬	65m ³ 片道 20km	78.0	135.0	0.050		1379.4
	埋戻	65m ³	12.7	41.0	0.175		238.7
		65m ³	14.0	3.0	0.301	1.57 L/m	33.1
	機械搬出	40km				0.382 L/km	40.0
散水	散水		36.0	4.0	0.436		145.7
合計CO ₂ 排出量							3593.6

5. 成果

モデルケースにおける CO₂ 排出量を試算した結果、以下に示すとおりであった。全体の割合を図-5 に示す。

- ・ 調査： 189.7 kg- CO₂
- ・ 分析： 27.9 kg- CO₂
- ・ 対策： 3593.6 kg- CO₂

試算の結果、対策における汚染土・埋戻土の運搬は、全体の約 72% を占め、合計 2,758.8 kg- CO₂ の排出量であった。当範囲における試算では、運搬が占める割合が大きい結果となった。分析は、使用する分析機器類のみで試算したため、非常に小さい値となった。

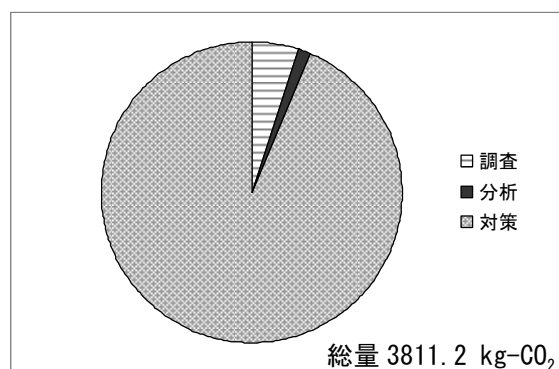


図-5 CO₂ 排出量の割合

6. 今後の課題

(1) 試算ケースの積み上げ

「特殊性が少なく汎用性があり、一般に示されているモデル」として、狭隘地における重金属汚染モデルを使用した。しかし、試算できたケースは掘削除去の 1 ケースのみであった。将来的な試算の標準化を目指すためには、種々の対策工法や、サイトの特性に応じた CO₂ 排出量の把握に加え、様々な汚染分布等、多様なモデルケースによる積み上げを行い、同時に、試算ケースの蓄積を図っていく必要が考えられる。

(2) 試算方法の合理性の向上

本報告では、試算範囲(システム境界)の設定を、実作業に限定して設定した。そのため、分析を行う上での施設維持管理、汚染土壌搬出後の処分における CO₂ 排出量については範囲外となっている。より現状に則した CO₂ 排出量を試算するためには、試算範囲(システム境界)の設定について検討を深めることが必要である。また、これに加えて試算プロセスの詳細の洗い出しを行うことで、試算の精度、方法の合理化性の向上が図られると考えられる。

(3) 技術評価の指標

現在、土壌・地下水汚染対策は、「時間」、「確実性」、「心理的嫌悪感(スティグマ)」の観点から、掘削除去措置が選択されるケースが多い。このような状況の中、従来の判断指標に並んで、「環境負荷」や「環境影響」を工法選択時の指標の一つとして、追加・転換していくことは重要なことの一つであり、これにより、より合理的な方策の決定に寄与する可能性が考えられる。したがって、継続的な検討活動を通して、求められる CO₂ 排出量の位置づけを明確にする必要が考えられる。

7. 謝辞

本検討に際して、名古屋大学エコトピア科学研究所 環境システム・リサイクル科学研究部門 井上助教に検討の進め方をはじめ、種々のご協力を頂いた。ここに記して感謝致します。

【参考文献】

- 1) 環境省(1999)地球温暖化対策の推進に関する法律施行令 排出係数一覧 (政令第百四十三号)
- 2)(社)全国地質調査業協会連合会(2007)全国標準積算資料 土質調査・地質調査 平成 20 年度改訂歩掛版,
- 3)(社)日本建設機械化協会(2008) : 建設機械等損料算定表
- 4)環境省報道発表資料(2008) : 電気事業者別二酸化炭素排出係数一覧,
- 5)環境省(2008) : 温室効果ガス排出量 算定・報告マニュアル ver2.2,
- 6)(社)土壌環境センター(2006) : GEPC 技術標準 埋戻し土壌の品質管理指針