

磁場による磁性体の吸引に関するガイドライン

俵 誠¹， 今里 功²， 山口潤仁³， 向田嘉宏⁴，
古川 浩⁵， 宮島 剛⁶， 有泉 弘⁷， 鈴木嘉雄⁸，
武智盛明⁹， 細井 純¹⁰

¹古河オックスフォード（主査）

²三洋電機

³シーメンス旭メディテック

⁴島津製作所

⁵東芝 那須工場

⁶日立製作所 那珂工場

⁷フィリップメディカルシステムズ

⁸富士電機

⁹三菱電機 赤穂製作所

¹⁰横河メディカルシステム

最近の MR 装置の普及を反映して安全性に対する関心が高まっている。IEC においても現在 SC 62 B-WG 21 が MR 装置の安全に関する国際規格を作成すべく準備中であり、日本からも通産省よりの依頼で（社）日本放射線機器工業会として積極的に参画している。因みに ICE のドラフトの中では、磁石が発生する漏洩磁場（stray field or fringe field）の管理区域としてペースメーカー装着者を対象とした 10 ガウス領域（従来の 5 ガウスが変更される方向で進んでいる）の他に磁性体持ち込み禁止区域として 200 ガウス領域の設定が提案されている。

我々（社）日本放射線機器工業会 WG では、MR 装置の中で特に磁石に関連する問題点の抽出とその標準化をテーマとして活動を続けており、安全性に関する項目を優先的に取り上げている。磁石の安全性としては、磁性体の磁場による吸引が現実的に最も危険性が高くかつ発生する可能性が大きいことから、上記 IEC との関係も含めて精力的に取り組んできた。

具体的には、国内で運転されている各社の磁石を用い、漏洩磁場による磁性体の吸引特性を実験により磁石のタイプ別に把握しガイドラインを設定したので紹介する。

磁性体の吸引特性は、磁場強度は勿論のこと磁石のタイプ、磁気シールドの有無及び磁性体の形状と材質によって大きく左右されることは理論的にも明白であるが、各種の磁石について同一条件での吸引特性を定量的に調査した試みは今回が初めてであろう。

実験を行うに先立ちどのような状態が“危険”であるのかについてかなりの時間をさいて論議したが、最終的には安全性を重視して“磁性体が明らかに吸引され始める状態”を“危険が生じ始まる状態”と認識して条件設定を行い、理論より実質を重んじた実験計画を組んだ。

実験の結果から、IEC のドラフトで設定されている 200 ガウス領域は磁性体の磁場による吸引の危険性の観点からすると、磁気シールドなしの磁石に対して磁性体の形状が直方体に近い場合には当てはまるが、細長い磁性体の場合は安全とは言えず、又日本では今や一般化している磁気シールド付きの超電導及び常電導磁石、及び永久磁石では磁性体の形状の如何に関わらず明らかに許容しえないレベルであることが確認された。この実験結果は IEC の各国メンバーにも配布され、平成 3 年 1 月に予定されている IEC 第 2 回 WG にて論議されることになってい

る。

今回我々が設定したガイドラインが、関係者の論議を呼ぶ礎石となり安全性の向上のための指針となれば幸いである。

磁性体の吸引に関するガイドライン

(1) 目的

本ガイドラインの目的は磁性体の磁石による吸引に関する危険領域を知らせることである。なお、その領域において必要な作業を制限するものではない。

ただし、危険領域において磁性体を使用する作業については、安全性を確保するため、磁性体であることの明示や作業者の安全教育など十分な配慮がなされるべきである。

(2) 磁性体の吸引

磁性体が磁石に吸引される力は漏洩磁界の強さ、句配および磁性体の質量によって決まる。(正確には、磁性体の磁気特性、形状および磁化の方向等によっても変化する。)従って、磁性体が磁石に吸引される領域は磁石のタイプ及び発生磁場によって異なる。

磁石のタイプを大別すると、一般に①超電導磁石 (SCM) ②常電導磁石 (RM) ③永久磁石 (PM) に分けられ、さらに、SCM と RM は自己シールド付きと自己シールドなしに分けられる。ところで、SCM も RM も空芯ソレノイド型であれば漏洩磁場の分布の傾向は同じであり、漏洩磁場の強さだけが異なる、よって、磁性体の吸引に関しては基本的には差がないと考えられる。しかし、同じ SCM でも自己シールド付きと自己シールドなしの間には明確な差がある。

(3) 磁石の分類とその特性

各種磁石を磁性体の吸引に関して分けると以下ようになる。

①自己シールドなし (SCM, RM)

漏洩磁場の広がり最も大きく、危険領域が広い。ただし、SCM と比較して漏洩磁場の小さい RM では、漏洩磁場に比例して危険領域も小さくなる。

②自己シールド付き (SCM, RM)

漏洩磁場の広がり小さく、危険領域も小さい。しかし、磁場句配が大きいため、上記自己シールドなし磁石と同じ大きさの漏洩磁場の領域では吸引力がより大きい。

③永久磁石 (PM)

漏洩磁場の広がり最も小さく、危険領域も小さい。しかし、磁場句配は自己シールド付きよりさらに大きく、小さい漏洩磁場の領域でも磁性体の吸引の危険がある。また、他の磁石と異なり緊急減磁はできない。

(4) ガイドライン

磁性体が明らかに磁石に吸引され始める点を安全管理上のガイドラインとし、漏洩磁場の強さで表示する。

本ガイドラインは次章以降に示す実験結果にもとづいて決めた。ガイドラインは前記実験結果に従い磁石のタイプ別に次のようになる。

①自己シールドなし (SCM, RM)

漏洩磁場が 100 ガウス以上の領域

②自己シールド付き (SCM, RM)

漏洩磁場が 50 ガウス以上の領域

③永久磁石 (PM)

漏洩磁場が 30 ガウス以上の領域

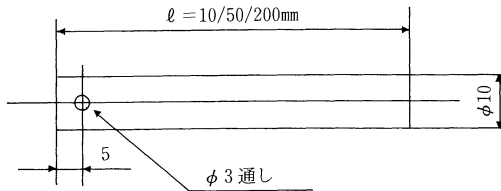
上記領域内では磁性体は吸引される危険性が高い。

また、磁石を設置するサイトでは上記領域内は勿論のこと、さらにその外にも 0.5~1.0 メートル加えた管理区域を設定すること、および危険領域を床に表示する等の対策をとることが望ましい。

実験方法

(1) 試料

材質，質別：S 35 C，市販一般材，加工処理
後熱処理無し



ℓ (mm)	重量 (gram)
10	5.7
50	30.6
200	124.0

図 1. 試料の形状および寸法

(2) 支持方法

図 2 に示すように，端部 5 mm の位置に加工された $\phi 3$ mm の穴に綿糸を通し固定し，該支持点が磁場中心軸上になるように非磁性体支持台から試料を鉛直に吊るす。支持間隔は 500 mm とし，鉛直基準線の確保のために綿糸等の非磁性材の先端に非磁性の錘を付ける。

(3) 測定方法

試料の先端が鉛直線より 30 mm 磁石に吸引される位置及び 50 mm 磁石に吸引される位置に支

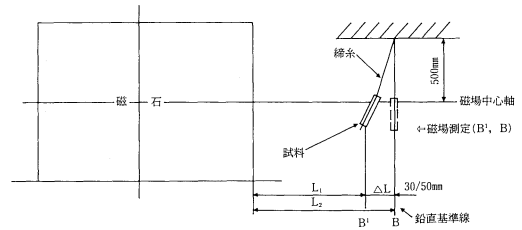


図 2. 吸引実験説明図

持台を移動し，このときの鉛直基準線の磁場強さ（図 2 B 点）を測定する。

実験結果

表 1, 2 及び図 3, 4 に実験結果を示す。

(1) 磁性体の形状効果

長さの長い試料（200 mm）は短い試料（10 mm）に比較してより小さな（ $\frac{1}{2}$ ～ $\frac{1}{3}$ ）磁場で吸引が始まる。

(2) 磁性体の鉛直基準線よりの移動量

移動量を 30 mm とした場合と 50 mm とした場合とで磁場強さで比較して，30 mm の方が 50 mm より約 1 割小さくなる。

(3) 磁性体が磁石に吸引され始める点

安全サイドを考えると，上記(1), (2)より，試料の長さが 200 mm で，移動量が 30 mm の結果をガイドラインのベースとすべきである。

実験結果を磁石のタイプ別に整理すると次のようになる。

磁石タイプ	吸引され始めの点(G)	ガイドライン(G)
①自己シールドなし	115	100
②自己シールド有り	47～70	50
③永久磁石	34～50	30

表 1. Test result of ferromagnetic attraction (1): 30mm movement (displacement)

ref. No.	Type of Mag.	Field (T)	Self shield	Sample 10 mml			Sample 50 mml			Sample 200 mml			Remarks *
				B (G)	B' (G)	L (M)	B (G)	B' (G)	L (M)	B (G)	B' (G)	L (M)	
9- 2	SCM	0.5	Active	153	172	0.58	96	113	0.68	* (44)	--	0.93	Free drop method
9- 4	SCM	0.5	Iron	(200)		0.54	(100)		0.78	(70)		0.93	(): rough estim,
9- 5	SCM	0.5	Iron	183		0.56	116		0.70	70		0.88	
9- 6	SCM	0.5	Iron	162		0.6	114		0.75	83		0.8	
9-10	SCM	0.5	Iron	220	240	* 0.48	90	95	* 0.83	47	50	* 1.12	From mag. cover
9- 1	SCM	1.5	Iron	220	240	0.83	110	120	1.10	65	70	1.33	
9- 7	SCM	1.5	Iron	197		0.91	109		1.12	* not measured			Unstable movem't
9-10	SCM	1.5	Active	195	210	* 0.72	82	90	* 1.00	62	67	* 1.11	From mag. cover
9-11	SCM	1.5	N/A	353		2.00	199		2.55	115		3.43	
9- 8	PM	0.15	--	120		* 0.10	55		* 0.205	38		* 0.255	From mag. cover
9- 3	PM	0.2	--	120		* 0.28	85		* 0.36	50		* 0.48	From mag. cover
9- 9	PM	0.2	--	110	160	0.44	78	106	0.54	34	75	0.71	

表 2. Test result of ferromagnetic attraction (2): 50 mm movement (displacement)

ref. No.	Type of Mag.	Field (T)	Self shield	Sample 10 mml			Sample 50 mml			Sample 200 mml			Remarks *
				B (G)	B' (G)	L (M)	B (G)	B' (G)	L (M)	B (G)	B' (G)	L (M)	
9- 2	SCM	0.5	Active	172	221	0.55	102	125	0.67				Free drop method
9- 4	SCM	0.5	Iron	(250)		0.49	(120)		0.75	(80)		0.92	(): rough estim.
9- 5	SCM	0.5	Iron	197		0.54	129		0.67	74		0.86	
9- 6	SCM	0.5	Iron	170		0.5	115		0.64	94		0.75	
9-10	SCM	0.5	Iron	250	280	* 0.43	105	120	* 0.745	56	64	* 1.04	From mag. cover
9- 1	SCM	1.5	Iron	250	290	0.78	115	130	1.09	75	90	1.25	
9- 7	SCM	1.5	Iron	250		0.85	136		1.08	70		1.39	
9-10	SCM	1.5	Active	225	275	* 0.67	95	110	* 0.94	65	75	* 1.09	From mag. cover
9-11	SCM	1.5	N/A	418		1.88	210		2.43	126		3.19	
9- 8	PM	0.15	--	130		0.115	60		0.22	40		0.265	From mag. cover
9- 3	PM	0.2	--	150		0.25	95		0.36	60		0.45	From mag. cover
9- 9	PM	0.2	--	143	166	* 0.45	84	118	* 0.56	34	74	* 0.721	

磁場による磁性体の吸引に関するガイドライン

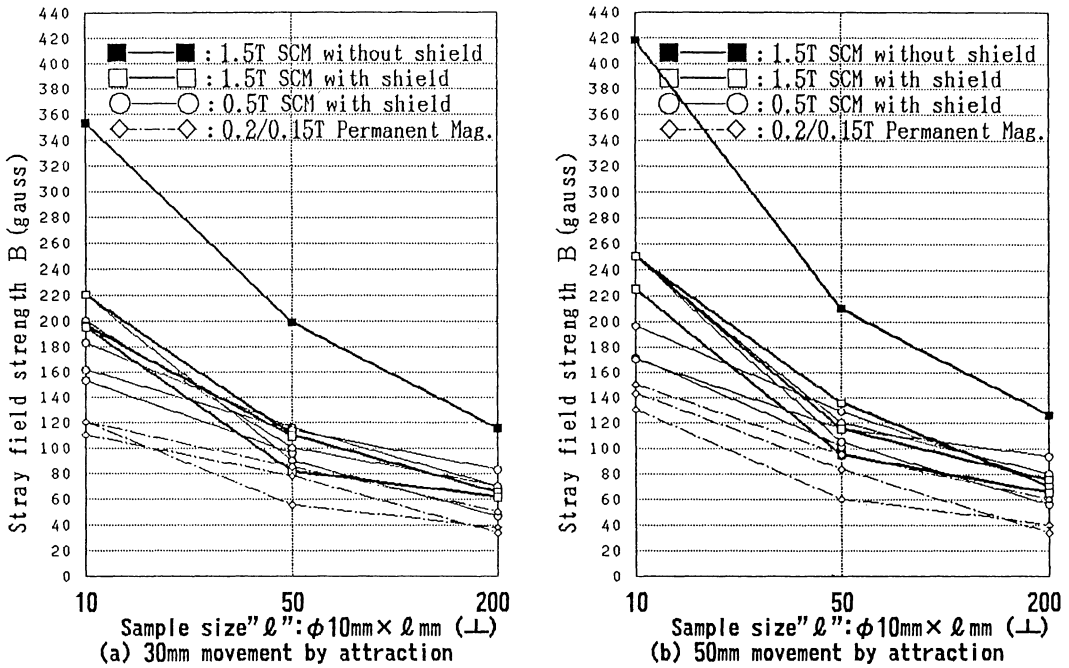


図3. Test results of magnetic attraction by magnetic field on various size of ferromagnetic material in terms of fringe field strength at magnetic center axis.

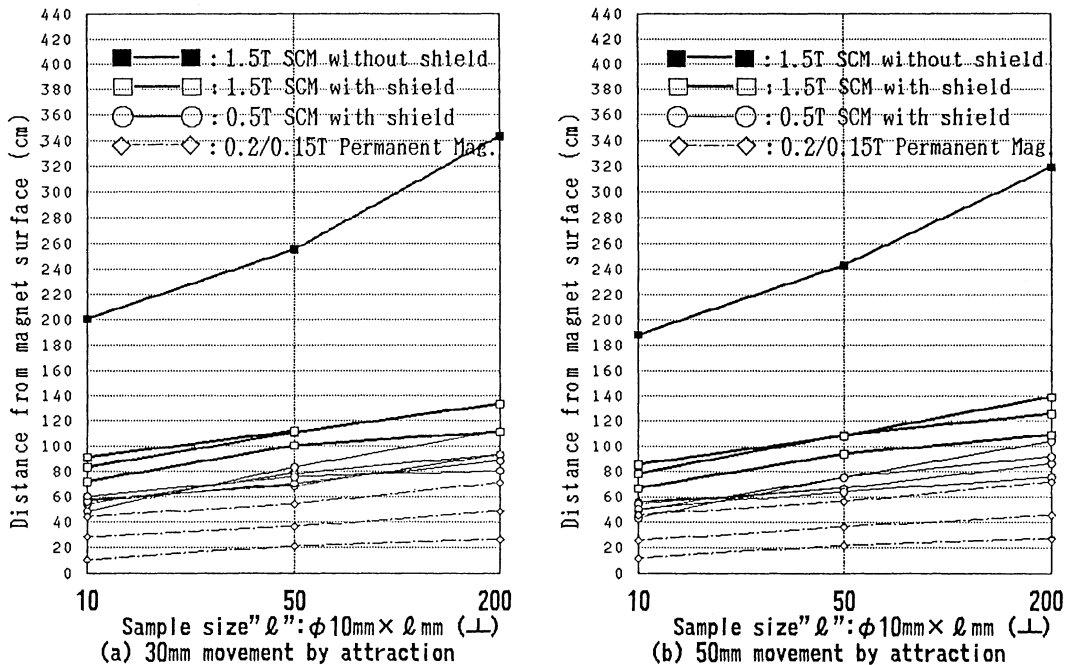


図4. Test results of magnetic attraction by magnetic field on various size of ferromagnetic material in terms of distance from magnet surface at magnetic center axis.