Lead/SCIFI カロリーメータの寸法について

山形大学 理学研究科 クォーク核物性研究グループ M1
松村 徹

平成 11 年 3 月 2 日

後方検出器としての鉛シンチレーティングファイバー (Lead/SCIFI) カロリーメータは、θ 方向に関しては 30^oから 100^oまで、また ϕ 方向については全ての角度を覆う設計になっている。立体角で言えば、2.08π(str) に相当する。

このカロリーメータは、各々 θ および ϕ に関して 10^o間隔で区切られており、θ 方向 30^oから 40^oを覆う Type B-3 [1]が 36 個、さらに Type B-4 から Type B-7 までも同様に 36 個、また 80^oから 90^oまでと、90^oから 100^oまでを覆う検出器の形状は、全く同じであるので、これを Type B-8 とし 72 個の合計 252 の検出器の集合体である。

Type	B-3	B-4	B-5	B-6	B-7	B-8
θ Region	30^o∼40^o	40^o∼50^o	50^o∼60^o	60^o∼70^o	70^o∼80^o	80^o∼90^o, 90^o∼100^o
Number of detector	36	36	36	36	36	72
Volume(cm^3)	704.47	870.17	1010.01	1119.39	1194.56	1232.82
Weight(kg)	3.23	3.99	4.63	5.13	5.47	5.65
PMT	H3178-61	H7195	H7195	H7195	H7195	H7195
PMT Size(inch)	$1\frac{1}{2}$	2	2	2	2	2

各検出器のターゲットに向く前面は、検出器中心を貫く軸[2]と垂直に交わる様にとり、ターゲットから各 Lead/SCIFI ブロックの前面までの距離は、300mm に固定されている。また検出器の長さは 220(mm) であり、およそ $13.7X_0$である。

以下に述べる寸法計算の結果、Lead/SCIFI 検出器の総重量は、およそ 1.2ton になる。

1 検出器形状の計算方法

検出器の陵などの長さは、ベクトル計算で求めることができる。ここでは、Type B-3(ϕ の範囲 0^o∼10^o) を例にとり議論を進めていく。

[1] Type B-3 の記号の意味は、B：Backward の意。3：θ 方向 30^oから覆うの意
[2] この軸の定義は、検出器の前面または背面の各頂点における角度中心を通るのではなく、図形中心を通るものとする。

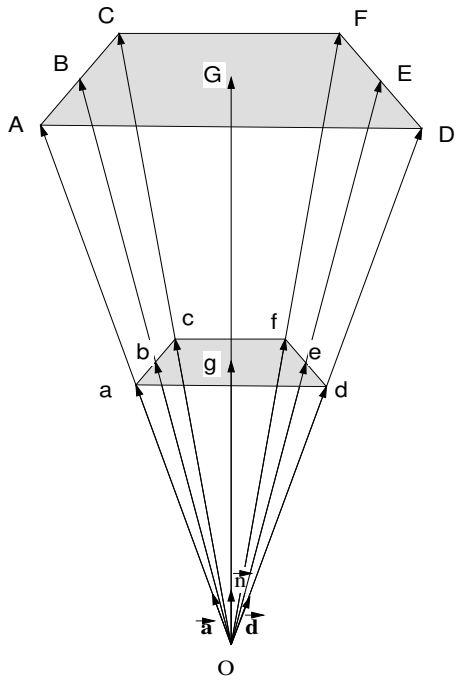


図 1:

まず、図 1 の様に各頂点に記号を定義する。

$\hat{b}$ および $\hat{e}$ は本来弧である所を直線で結んでいるため、θ 方向については 30°,40°上に存在せず、次のように決定される。

$$\hat{\boldsymbol{b}} = \frac{\hat{\boldsymbol{a}} + \hat{\boldsymbol{c}}}{|\hat{\boldsymbol{a}} + \hat{\boldsymbol{c}}|} \tag{1}$$

$$\hat{e} = \frac{\hat{\boldsymbol{d}} + \hat{\boldsymbol{f}}}{|\hat{\boldsymbol{d}} + \hat{\boldsymbol{f}}|} \tag{2}$$

検出器の各点までの距離および平面の法線ベクトルは、以下の 2 つの条件によって決まる。

条件 (i)　平面の法線ベクトルを $\hat{n}$ とすると、点 $a \sim f$ は全てこの平面上にある。

条件 (ii)　ベクトル $\overrightarrow{eg}$ と $\overrightarrow{bg}$ は平行かつ同じ長さである。

条件 (i) を a に関して式で書き表すと、

$$\overrightarrow{ag} \cdot \hat{\boldsymbol{n}} = 0 \tag{3}$$

であり、従って次の関係式を得る。

$$l_a \quad = \quad \frac{l}{\hat{\boldsymbol{a}} \cdot \hat{\boldsymbol{n}}} \tag{4}$$

g は検出器前面および背面と検出器中心軸との交わる点で、$l = 300(\mathrm{mm})$ とすれば、

$$\overrightarrow{Og} = l\hat{\boldsymbol{n}} \tag{5}$$

と書き表せる。

次に条件 (ii) を考慮すると、$\hat{n}$ の関係式が得られる。

$$\hat{\boldsymbol{n}} = \frac{l_b\hat{\boldsymbol{b}} + l_e\hat{\boldsymbol{e}}}{2l} \tag{6}$$

となる。

また、条件 (i) より、

$$l_b = \frac{l}{\hat{\boldsymbol{b}} \cdot \hat{\boldsymbol{n}}} \tag{7}$$

$$l_e = \frac{l}{\hat{\boldsymbol{e}} \cdot \hat{\boldsymbol{n}}} \tag{8}$$

式 (6) を式 (7) および (8) に代入すると、

$$l_b = \frac{2l^2 - l_e^2}{l_e\hat{\boldsymbol{b}} \cdot \hat{\boldsymbol{e}}} \tag{9}$$

$$l_e = \frac{2l^2 - l_b^2}{l_b\hat{\boldsymbol{b}} \cdot \hat{\boldsymbol{e}}} \tag{10}$$

式 (9),(10) から l_e を消去すると、l_b に関する次の 4 次方程式を得る。

$$\left[1 - (\hat{\boldsymbol{b}} \cdot \hat{\boldsymbol{e}})^2\right] l_b^4 - 4l^2 l_b^2 + 4l^4 = 0 \tag{11}$$

l_b の解のうち、2 つは負解であり、またさらにもう 1 つの解は現実的に成り立たないことが自明であるため、次の解を得た。

$$l_b = \frac{2l^2}{1 + (\hat{\boldsymbol{b}} \cdot \hat{\boldsymbol{e}})} \tag{12}$$

(10) 式に (12) を代入し l_e が求まると、(6) 式より $\hat{n}$ を得る。さらに、$\hat{n}$ が決まると条件 (i) により、他の未知数が全て決定する。

背面のパラメータに関しても同様の議論により確定する。

Polar angle for each unit vector (degree)

θ_a	30.000	θ_b	29.906	θ_c	30.000
θ_d	40.000	θ_e	39.892	θ_f	40.000
ϕ_a	0.000	ϕ_b	5.000	ϕ_c	10.000
ϕ_d	0.000	ϕ_e	5.000	ϕ_f	10.000
θ_g	34.899	ϕ_g	5.000		

Length (mm)

$\overrightarrow{Oa}$	301.429	$\overrightarrow{Ob}$	301.143	$\overrightarrow{Oc}$	301.429
$\overrightarrow{Od}$	301.617	$\overrightarrow{Oe}$	301.143	$\overrightarrow{Of}$	301.617
$\overrightarrow{OA}$	522.477	$\overrightarrow{OB}$	521.981	$\overrightarrow{OC}$	522.477
$\overrightarrow{OD}$	522.802	$\overrightarrow{OE}$	521.981	$\overrightarrow{OF}$	522.802

$\overrightarrow{aA}$	221.048	$\overrightarrow{bB}$	220.838	$\overrightarrow{cC}$	221.048
$\overrightarrow{dD}$	221.186	$\overrightarrow{eE}$	220.838	$\overrightarrow{fF}$	221.186

$\overrightarrow{ac}$	26.271	$\overrightarrow{cf}$	52.559	$\overrightarrow{be}$	52.424
$\overrightarrow{fd}$	33.795	$\overrightarrow{da}$	52.559		
$\overrightarrow{AC}$	45.537	$\overrightarrow{CF}$	91.103	$\overrightarrow{BE}$	90.869
$\overrightarrow{FD}$	58.578	$\overrightarrow{DA}$	91.103		

Area S(cm^2)

Front face($abcd$)	15.745	Rear Face($ABCD$)	47.304

Volume V and Weight W

V	=	704.47(cm^3)
W	=	3.23(kg)

表 1: 後方検出器 Type B-3 の幾何学的寸法

Polar angle for each unit vector (degree)

θ_a	40.000	θ_b	39.892	θ_c	40.000
θ_d	50.000	θ_e	49.892	θ_f	50.000
ϕ_a	0.000	ϕ_b	5.000	ϕ_c	10.000
ϕ_d	0.000	ϕ_e	5.000	ϕ_f	10.000
θ_g	44.892	ϕ_g	5.000		

Length (mm)

$\overrightarrow{Oa}$	301.620	$\overrightarrow{Ob}$	301.146	$\overrightarrow{Oc}$	301.620
$\overrightarrow{Od}$	301.819	$\overrightarrow{Oe}$	301.146	$\overrightarrow{Of}$	301.819
$\overrightarrow{OA}$	522.807	$\overrightarrow{OB}$	521.986	$\overrightarrow{OC}$	522.807
$\overrightarrow{OD}$	523.154	$\overrightarrow{OE}$	521.986	$\overrightarrow{OF}$	523.154

$\overrightarrow{aA}$	221.188	$\overrightarrow{bB}$	220.840	$\overrightarrow{cC}$	221.188
$\overrightarrow{dD}$	221.344	$\overrightarrow{eE}$	220.840	$\overrightarrow{fF}$	221.334

$\overrightarrow{ac}$	33.795	$\overrightarrow{cf}$	52.594	$\overrightarrow{be}$	52.493
$\overrightarrow{fd}$	40.302	$\overrightarrow{da}$	52.594		
$\overrightarrow{AC}$	58.578	$\overrightarrow{CF}$	91.162	$\overrightarrow{BE}$	90.988
$\overrightarrow{FD}$	69.857	$\overrightarrow{DA}$	91.162		

Area S(cm^2)

Front face($abcd$)	19.448	Rear Face($ABCD$)	58.430

Volume V and Weight W

V	=	870.17(cm^3)
W	=	3.99(kg)

表 2: 後方検出器 Type B-4 の幾何学的寸法

Polar angle for each unit vector (degree)

θ_a	50.000	θ_b	49.892	θ_c	50.000
θ_d	60.000	θ_e	59.905	θ_f	60.000
ϕ_a	0.000	ϕ_b	5.000	ϕ_c	10.000
ϕ_d	0.000	ϕ_e	5.000	ϕ_f	10.000
θ_g	54.899	ϕ_g	5.000		

Length (mm)

$\overrightarrow{Oa}$	301.822	$\overrightarrow{Ob}$	301.149	$\overrightarrow{Oc}$	301.822
$\overrightarrow{Od}$	302.010	$\overrightarrow{Oe}$	301.149	$\overrightarrow{Of}$	302.010
$\overrightarrow{OA}$	523.159	$\overrightarrow{OB}$	521.991	$\overrightarrow{OC}$	523.159
$\overrightarrow{OD}$	523.485	$\overrightarrow{OE}$	521.991	$\overrightarrow{OF}$	523.485

$\overrightarrow{aA}$	221.336	$\overrightarrow{bB}$	220.843	$\overrightarrow{cC}$	221.336
$\overrightarrow{dD}$	221.474	$\overrightarrow{eE}$	220.843	$\overrightarrow{fF}$	221.474

$\overrightarrow{ac}$	40.302	$\overrightarrow{cf}$	52.628	$\overrightarrow{be}$	52.561
$\overrightarrow{fd}$	45.591	$\overrightarrow{da}$	52.628		
$\overrightarrow{AC}$	69.858	$\overrightarrow{CF}$	91.222	$\overrightarrow{BE}$	91.106
$\overrightarrow{FD}$	79.024	$\overrightarrow{DA}$	91.222		

Area S(cm^2)

Front face($abcd$)	22.573	Rear Face($ABCD$)	67.820

Volume V and Weight W

V	=	1010.01(cm^3)
W	=	4.63(kg)

表 3: 後方検出器 Type B-5 の幾何学的寸法

Polar angle for each unit vector (degree)

θ_a	60.000	θ_b	59.905	θ_c	60.000
θ_d	70.000	θ_e	69.930	θ_f	70.000
ϕ_a	0.000	ϕ_b	5.000	ϕ_c	10.000
ϕ_d	0.000	ϕ_e	5.000	ϕ_f	10.000
θ_g	64.918	ϕ_g	5.000		

Length (mm)

$\overrightarrow{Oa}$	302.013	$\overrightarrow{Ob}$	301.152	$\overrightarrow{Oc}$	302.013
$\overrightarrow{Od}$	302.167	$\overrightarrow{Oe}$	301.152	$\overrightarrow{Of}$	302.167
$\overrightarrow{OA}$	523.489	$\overrightarrow{OB}$	521.996	$\overrightarrow{OC}$	523.489
$\overrightarrow{OD}$	523.756	$\overrightarrow{OE}$	521.996	$\overrightarrow{OF}$	523.756

$\overrightarrow{aA}$	221.476	$\overrightarrow{bB}$	220.844	$\overrightarrow{cC}$	221.476
$\overrightarrow{dD}$	221.589	$\overrightarrow{eE}$	220.844	$\overrightarrow{fF}$	221.589

$\overrightarrow{ac}$	45.591	$\overrightarrow{cf}$	52.658	$\overrightarrow{be}$	52.622
$\overrightarrow{fd}$	49.495	$\overrightarrow{da}$	52.658		
$\overrightarrow{AC}$	79.025	$\overrightarrow{CF}$	91.274	$\overrightarrow{BE}$	91.211
$\overrightarrow{FD}$	85.791	$\overrightarrow{DA}$	91.274		

Area S(cm^2)

Front face($abcd$)	25.018	Rear Face($ABCD$)	75.165

Volume V and Weight W

V	=	1119.39(cm^3)
W	=	5.13(kg)

表 4: 後方検出器 Type B-6 の幾何学的寸法

Polar angle for each unit vector (degree)

θ_a	70.000	θ_b	69.930	θ_c	70.000
θ_d	80.000	θ_e	79.963	θ_f	80.000
ϕ_a	0.000	ϕ_b	5.000	ϕ_c	10.000
ϕ_d	0.000	ϕ_e	5.000	ϕ_f	10.000
θ_g	74.946	ϕ_g	5.000		

Length (mm)

$\overrightarrow{Oa}$	302.169	$\overrightarrow{Ob}$	301.154	$\overrightarrow{Oc}$	302.169
$\overrightarrow{Od}$	302.269	$\overrightarrow{Oe}$	301.154	$\overrightarrow{Of}$	302.269
$\overrightarrow{OA}$	523.759	$\overrightarrow{OB}$	521.999	$\overrightarrow{OC}$	523.759
$\overrightarrow{OD}$	523.933	$\overrightarrow{OE}$	521.999	$\overrightarrow{OF}$	523.933

$\overrightarrow{aA}$	221.590	$\overrightarrow{bB}$	220.846	$\overrightarrow{cC}$	221.590
$\overrightarrow{dD}$	221.664	$\overrightarrow{eE}$	220.846	$\overrightarrow{fF}$	221.664

$\overrightarrow{ac}$	49.495	$\overrightarrow{cf}$	52.680	$\overrightarrow{be}$	52.667
$\overrightarrow{fd}$	51.888	$\overrightarrow{da}$	52.680		
$\overrightarrow{AC}$	85.791	$\overrightarrow{CF}$	91.313	$\overrightarrow{BE}$	91.289
$\overrightarrow{FD}$	89.940	$\overrightarrow{DA}$	91.313		

Area S(cm^2)

Front face($abcd$)	26.698	Rear Face($ABCD$)	80.212

Volume V and Weight W

V	=	1194.56(cm^3)
W	=	5.47(kg)

表 5: 後方検出器 Type B-7 の幾何学的寸法

Polar angle for each unit vector (degree)

θ_a	80.000	θ_b	79.693	θ_c	80.000
θ_d	90.000	θ_e	90.000	θ_f	90.000
ϕ_a	0.000	ϕ_b	5.000	ϕ_c	10.000
ϕ_d	0.000	ϕ_e	5.000	ϕ_f	10.000
θ_g	84.981	ϕ_g	5.000		

Length (mm)

$\overrightarrow{Oa}$	302.270	$\overrightarrow{Ob}$	301.155	$\overrightarrow{Oc}$	302.270
$\overrightarrow{Od}$	302.305	$\overrightarrow{Oe}$	301.155	$\overrightarrow{Of}$	302.305
$\overrightarrow{OA}$	523.935	$\overrightarrow{OB}$	522.001	$\overrightarrow{OC}$	523.935
$\overrightarrow{OD}$	523.995	$\overrightarrow{OE}$	522.001	$\overrightarrow{OF}$	523.995

$\overrightarrow{aA}$	221.665	$\overrightarrow{bB}$	220.847	$\overrightarrow{cC}$	221.665
$\overrightarrow{dD}$	221.690	$\overrightarrow{eE}$	220.847	$\overrightarrow{fF}$	221.690

$\overrightarrow{ac}$	51.889	$\overrightarrow{cf}$	52.692	$\overrightarrow{be}$	52.691
$\overrightarrow{fd}$	52.695	$\overrightarrow{da}$	52.691		
$\overrightarrow{AC}$	89.940	$\overrightarrow{CF}$	91.333	$\overrightarrow{BE}$	91.330
$\overrightarrow{FD}$	91.338	$\overrightarrow{DA}$	91.333		

Area S(cm^2)

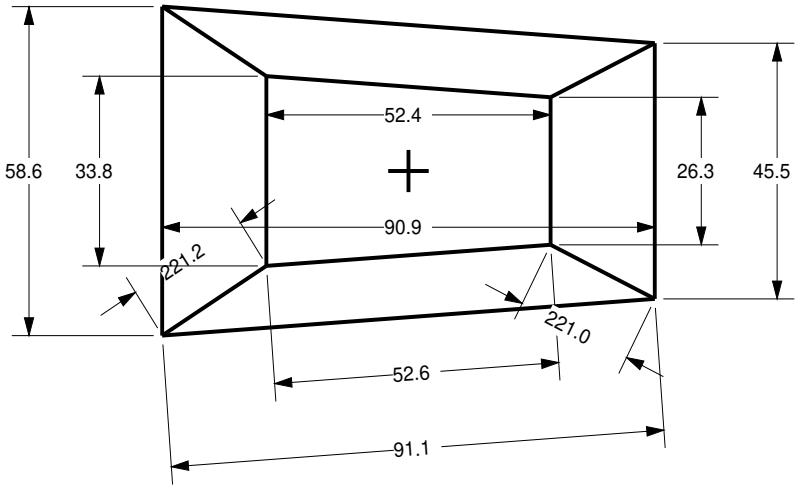
Front face($abcd$)	27.553	Rear Face($ABCD$)	82.781

Volume V and Weight W

V	=	1232.82(cm^3)
W	=	5.65(kg)

表 6: 後方検出器 Type B-8 の幾何学的寸法

TYPE B-3



TYPE B-4

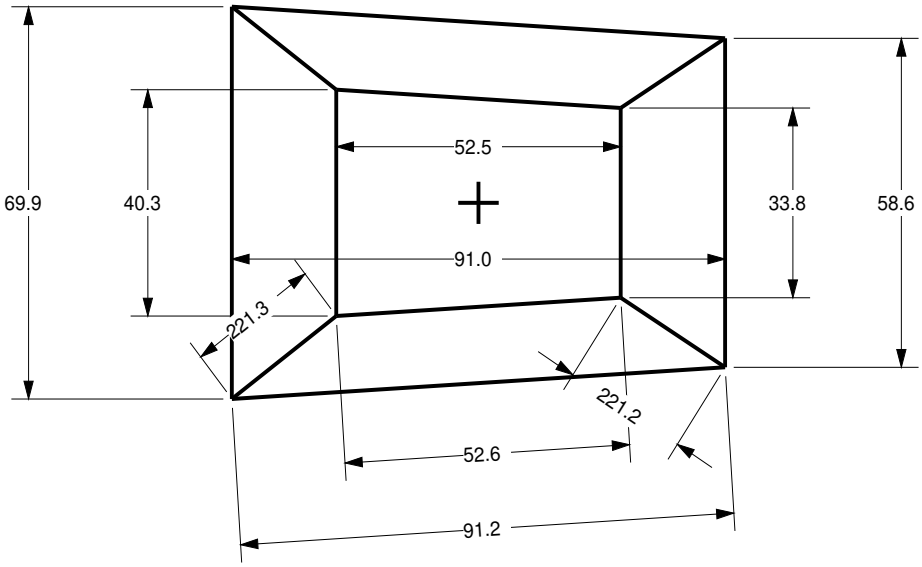


図 2: 後方検出器寸法 (TYPE B-3,TYPE B-4)

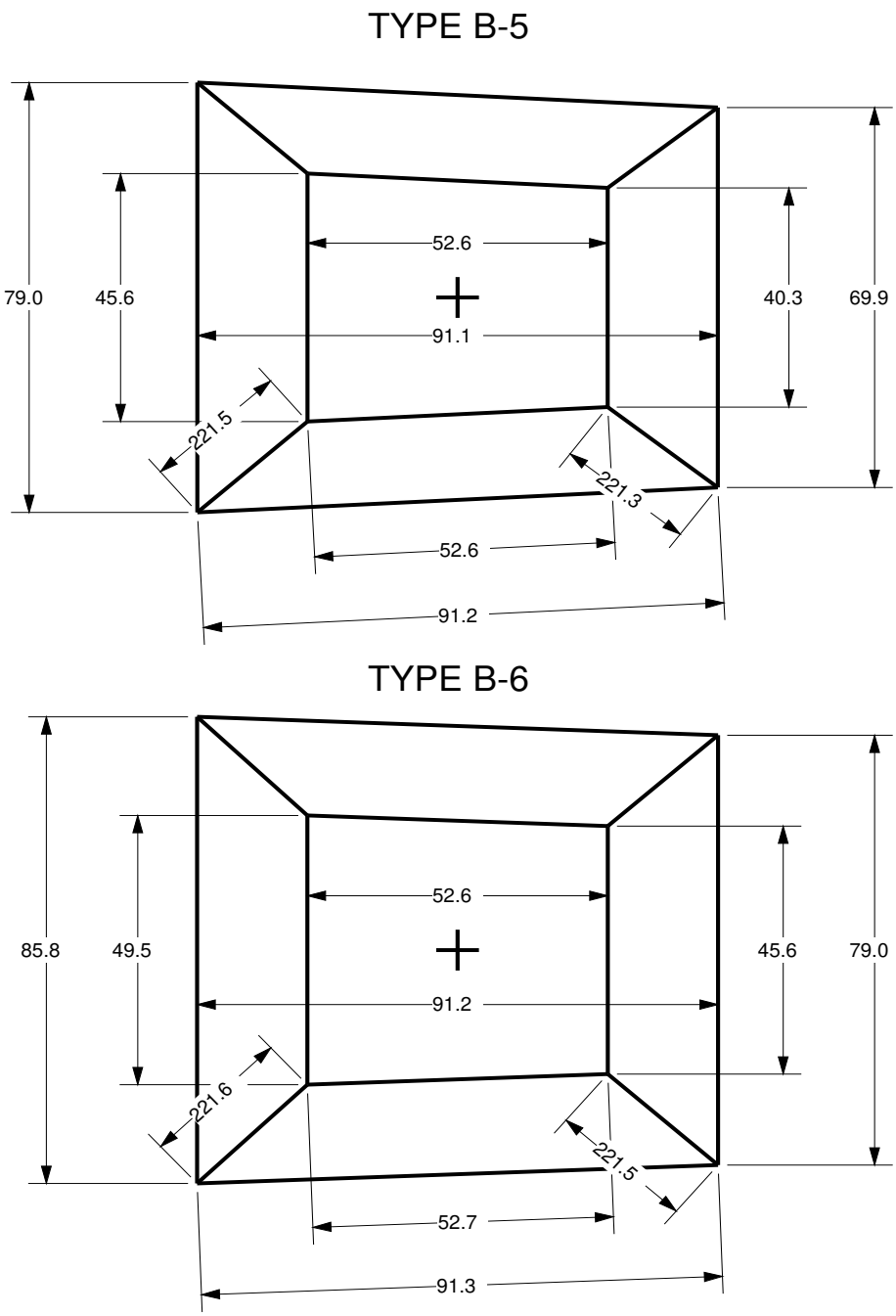


図 3: 後方検出器寸法 (TYPE B-5,TYPE B-6)

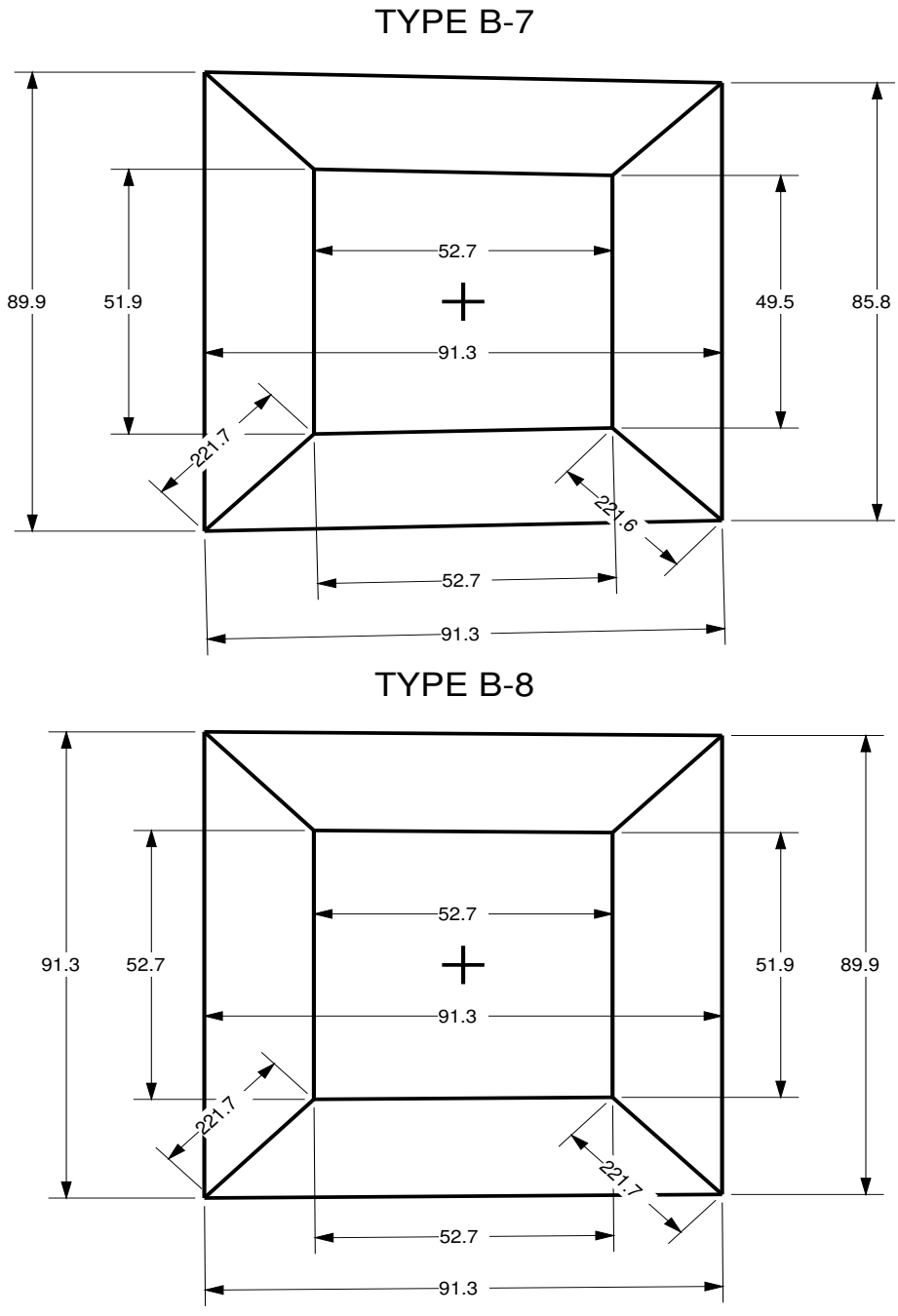


図 4: 後方検出器寸法 (TYPE B-7,TYPE B-8)