

## 第四章 本船操縱模式

### 4.1 計畫船型

依契約規定；本操船模擬試驗所使用之「本船」包括 17.7、21.6 及 26.6 萬立方公尺容積 LNG 船共三艘。LNG 船是在零下 163 攝氏度低溫下運輸液化天然氣的專用船舶，是高技術、高難度、高附加值的船舶。LNG 船的儲貨艙是獨立於船體的特殊構造。船舶尺寸通常受到港口碼頭和接收站條件的限制。14.5 萬立方公尺容積是最常用的船型，船舶最大的尺寸已達到 26.6 萬立方公尺容積。依據貨艙容積大小分類如表 4.1-1

表 4.1-1 LNG 船貨艙容積大小分類

	儲貨容積(萬立方公尺)	船長(公尺)	船寬(公尺)
小型	9.0 以下	250 以下	40 以下
標準型	12.0-15.0	270-298	41-49
大型	15.0-18.0	285-295	43-46
Q-flex	20.0-22.0	315	50
Q-max	26.0	345	53-55

依據低溫艙槽的構造，LNG 船大略可分為薄膜型(Membrane Type)及球型(Moss Type)兩種，優缺點比較如表 4.1-2。

從總體上看薄膜型 LNG 船在船型性能方面要優於球型，但球型具有貨物裝載限制較少等使用操作上的優點，在早期的 LNG 海運中，球型船佔有較大優勢。2011 年完成 17.7 萬立方公尺容積的 Energy Horizon 號，是最大的球型 LNG 船。船長 300 公尺，船寬 52 公尺，總噸位(Gross Tonnage)143,000 噸。標準型 LNG 船的艙容一般在 12-15 萬立方公尺容積上下，船長不超過 300 公尺。而 Q-Flex 型 LNG 船的設計承載能力是 21.6 萬立方公尺容積，船長則達到 315 公尺；世界上大約 2/3 的液化天

然氣終端站可以供這種類型的 LNG 船使用。Q-Max 型 LNG 船的承載能力比 Q-Flex 型還要大，達到 26.6 萬立方公尺容積，船長 345 公尺，世界上約一半的液化天然氣終端站可以接收這類船型，它是目前世界上最大的 LNG 船。

表 4.1-2 薄膜型及球型優缺點比較

	球型	薄膜型
優點	保溫絕緣可靠度高、自由液面效應低	建造成本較低、可運載較多液化天然氣、平坦的甲板較易維修、風阻較小、貨艙冷卻速度較快
缺點	受船寬及貨艙容積大型化限制、風阻較大、貨艙冷卻速度較慢	局部裝貨(Partial Filling)限制、易受沖擊(Sloshing)現象影響、需要經驗豐富的船員進行操作

目前營運中的 17.7 萬立方公尺容積 LNG 船有薄膜型及球型兩種。本計畫考量未來船舶發展趨勢採用薄膜型 LNG 船，與 21.6 與 26.6 萬立方公尺 LNG 船相同型式。同時上述船型依中油需求為準。本船船模設計的主要尺寸、船速以及主機出力等詳表 4.1-3 所示。

表 4.1-3 本船模型之設計尺寸與主機配置

	主要尺寸 (m)	船速 (knots)	主機出力 (kW)	側推進(kW) (bow/stern)
17.7 萬立方公尺級 LNG 船	298.4×46.0×11.9	19.5	Diesel, 2×14222	-/-
21.6 萬立方公尺級 LNG 船	315.0×50.0×12.0	19.5	Diesel, 2×15560	-/-
26.6 萬立方公尺級 LNG 船	345.0×53.8×12.0	19.5	Diesel, 2×20000	-/-

## 4.2 17.7 萬立方公尺級 LNG 船舶模操縱性能設計

17.7 萬立方公尺級 LNG 船模(代號 LNG177)數學模型為研究團隊參考現有之大型 Membrane 型式 LNG 船設計資料所設計，其操縱參數資料乃參考相近之實船性能資料所建構。研究團隊將進一步規劃計算本船操縱性能參數，如主機轉速與船速表(engine telegraph)、迴轉操縱參數進距(advance)、橫距(transfer)、緊急剎俾終止距(crash stopping)等等，作為本船數學模型建置的基本操作性能指標。

本試驗船模建置之 LNG 本船領航卡如表 4.2-1，主要尺寸與本船相關配置如表 4.2-2。貨櫃船本船之基本操舵特性與基本操縱性能分析結果如表 4.2-3 所示。本船裝置半懸掛舵(semi suspended rudder)，最大舵角 35 度，配置兩台舵機，由最大左舵角至最大右舵角的操舵時間 23 秒。停船測試結果；由全俾前進(FAH)至全倒俾(FAS)的停止距離，即緊急倒俾之衝止距(Crash stop distance)，約 13.96cbls (2585 公尺) 相當為 8.7 倍船長，停止時間約 13 分鐘。本船滿載之深水迴旋圈測試結果，以滿舵 35 度迴旋，縱距(advance)約 4.51cbls(835 公尺)，相當於 2.80 倍船長。橫距(transfer)約 2.25cbls(417 公尺)。戰術直徑(Tactical diameter)約為 5.25cbls(972 公尺)，相當於 3.26 倍船長。

表 4.2-1 LNG177 船模之本船領航卡

PILOT CARD			
Ship name	177,000m <sup>3</sup> LNG	Year built	2018
IMO Number	N/A	Call Sign	N/A
Load condition	Full loaded		
Displacement	121,452 tones	Draft forward	11.9 m
Deadweight	87,130 tones	Draft forward extreme	11.9 m
Capacity	177,000m <sup>3</sup>	Draft after	11.9 m
Air draft	48 m	Draft after extreme	11.9 m

註：本計畫整理

表 4.2-2 LNG177 船模之本船主要尺度(ship particular)

Ship Particular			
Length over all (LOA)	298.4 m	Type of bow	Bulbous
Breadth	46m	Type of stern	Transom
Anchor(s) (No. / types)	2 ( Port Bow / Stdb.Bow)		
No. of shackles	10/15	1 shackle=27.5 m	

註：本計畫整理

表 4.2-3 LNG177 船模基本操縱特性

Steering characteristics			
Steering Device	Semisuspended	Number of bow thrusters	N/A
Maximum angle	35 degrees	Power	N/A
Neutral effect angle	0 degrees	Number of stern thrusters	N/A
Hard over to over (2pumps)	23 seconds	Power	N/A
Stopping		Turning circle	
Description	Full Time	Head reach	Ordered Engine:100% Rudder:35°
FAH to FAS	805 s	13.96 cbls	Advance 4.51 cbls
HAH to HAS	1194 s	15.93 cbls	Transfer 2.25 cbls
SAH to SAS	1356 s	14.38 cbls	Tactical Diameter 5.25 cbls

註：本計畫整理

表 4.2-4 為 LNG177 船模主機系統配置以及船速與轉速對應表 (Engine Telegraph Table)。本船主機(main engine)型式採用低速柴油引擎，雙俾、雙軸與雙螺槳配置。主機最大功率(Maximum power)2×14,222 kW，轉速每分鐘 83 轉(RPM)，最低穩定輸出轉速為 20RPM，倒俾輸出最大功率遠進俾功率的 51%。螺槳採用固定螺距螺槳(FPP)。船速與轉速對應俾速表顯示俾速海上全速(FSAH)，主機最大輸出(MCR)13,500 kW，螺槳轉速 83RPM，船速 19.5 節。

表 4.2-4 LNG177 船模主機系統配置

Main Engine (s)				
Type of Main Engine	Slow speed diesel	No. of propellers	2	
Number of Main Engine	2	Propeller rotation	Outward	
Maximum power(MCR)	14,222 kW	Propeller type	FPP	
Astern power	51% ahead	Min. RPM	20	
Engine Telegraph Table				
Manoeuvring Engine order	RPM	Speed (knots)		
		Deep water	Engine power,kW	Pitch ratio
Full sea Ahead	83	19.5	13,500	1
Full Ahead	46	11.0	2,250	1
Half Ahead	38	9.0	1,280	1
Slow Ahead	30	7.1	610	1
Dead Slow Ahead	22	5.1	250	1
Dead Slow Astern	-22	-2.8	580	1
Slow Astern	-30	-3.6	1,500	1
Half Astern	-36	-4.5	2,600	1
Full Astern	-50	-6.0	6,880	1

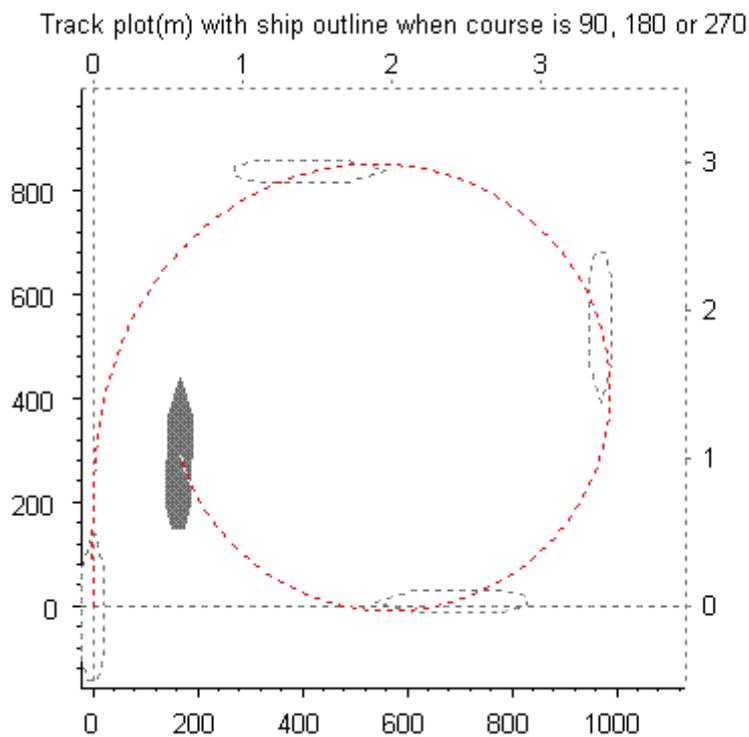
註：本計畫整理

表 4.2-5 為 LNG177 船模深水與淺水條件迴旋圈測試結果比較表，淺水條件結果是以水深吃水比為 1.5 時，淺水效應(shallow water effect)的計算結果。淺水條件迴旋圈測試結果，縱距約增加 148 公尺，橫距增

加約 122 公尺。淺水效應對操縱性能與停船性能的影響隨著水深吃水比的減小，操縱性能與停船性能均呈現非線性衰減。表 4.2-6 為貨櫃船本船之 Z 型操縱試驗結果，Z 型運動超射角(overshoot angle)約為 9°。

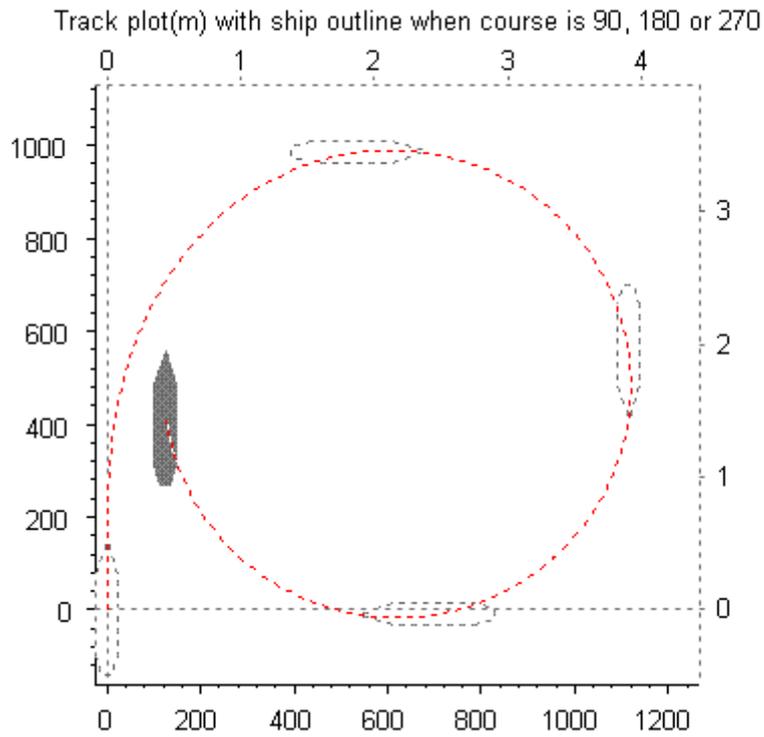
表 4.2-5 LNG177 船模深水與淺水迴旋圈測試結果

**35° Turning Circles**  
(Deep water Test)



Eng. %	Rudd. Deg	Advance cbls	Transfer cbls	Tract. Dia. cbls	Final ROT Deg/min	Final speed knots	Final time second
100	35	4.51	2.25	5.25	35	8.4	582
100	-35	4.51	-2.25	-5.25	-35	8.4	582

### (Shallow water Test)

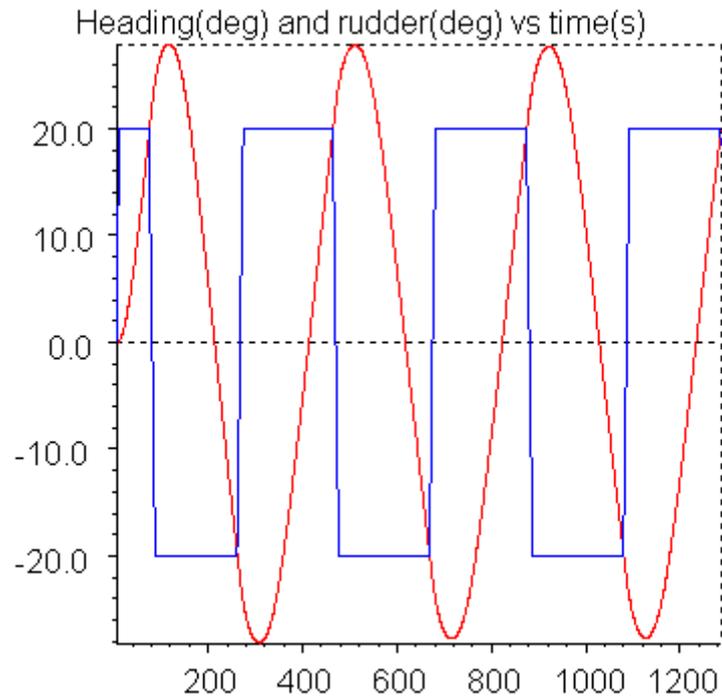


Eng. %	Rudd. Deg	Advance cbls	Transfer cbls	Tract. Dia. cbls	Final ROT Deg/min	Final speed knots	Final time second
100	35	5.31	2.91	6.02	35	9.8	613
100	-35	5.31	-2.91	-6.02	-35	9.8	613

註：本計畫整理

表 4.2-6 LNG177 船模 Z 型操縱試驗圖

20°/20° Zig/Zag Test



Initial speed	13.2 knots
Heading deviation	20 deg
Ordered rudder	20 deg
1st overshoot	8.0 deg
2nd overshoot	8.2 deg
3rd overshoot	7.9 deg
Period	459 s
Final speed	9.1 knots
Final time	1377 s

註：本計畫整理

### 4.3 21.6 萬立方公尺級 LNG 船模操縱性能設計

21.6 萬立方公尺級 LNG 船模(代號 LNG216)數學模型為研究團隊參考現有 Qflex 等級 LNG 船設計資料所設計，其操縱參數資料乃參考相近之實船性能資料所建構。研究團隊將進一步規劃計算本船操縱性能參數，如主機轉速與船速表(engine telegraph)、迴轉操縱參數進距(advance)、橫距(transfer)、緊急剎俾終止距(crash stopping)等等，作為本船數學模型建置的基本操作性能指標。

本試驗船模建置之 LNG 本船領航卡如表 4.3-1，主要尺寸與本船相關配置如表 4.3-2。貨櫃船本船之基本操舵特性與基本操縱性能分析結果如表 4.3-3 所示。本船裝置半懸掛舵(semi suspended rudder)，最大舵角 35 度，配置兩台舵機，由最大左舵角至最大右舵角的操舵時間 23 秒。停船測試結果；由全俾前進(FAH)至全倒俾(FAS)的停止距離，即緊急倒俾之衝止距(Crash stop distance)，約 11.09cbls (2054 公尺) 相當為 6.52 倍船長，停止時間約 9 分鐘。本船滿載之深水迴旋圈測試結果，以滿舵 35 度迴旋，縱距(advance)約 4.74cbls(878 公尺)，相當於 2.79 倍船長。橫距(transfer)約 2.27cbls(420 公尺)。戰術直徑(Tactical diameter)約為 5.48cbls(1015 公尺)，相當於 3.22 倍船長。

表 4.3-1 LNG216 船模之本船領航卡

PILOT CARD			
Ship name	216,000m <sup>3</sup> LNG	Year built	2018
IMO Number	N/A	Call Sign	N/A
Load condition	Full loaded		
Displacement	142,272 tones	Draft forward	12.0 m
Deadweight	100,800 tones	Draft forward extreme	12.0 m
Capacity	216,000m <sup>3</sup>	Draft after	12.0 m
Air draft	52 m	Draft after extreme	12.0 m

註：本計畫整理

表 4.3-2 LNG216 船模之本船主要尺度(ship particular)

Ship Particular			
Length over all (LOA)	315.0 m	Type of bow	Bulbous
Breadth	50m	Type of stern	Transom
Anchor(s) (No. / types)	2 ( Port Bow / Stdb.Bow)		
No. of shackles	10/15	1 shackle=27.5 m	

註：本計畫整理

表 4.3-3 LNG216 船模基本操縱特性

Steering characteristics				
Steering Device	Semisuspended	Number of bow thrusters	N/A	
Maximum angle	35 degrees	Power	N/A	
Neutral effect angle	0 degrees	Number of stern thrusters	N/A	
Hard over to over (2pumps)	23 seconds	Power	N/A	
<b>Stopping</b>			<b>Turning circle</b>	
Description	Full Time	Head reach	Ordered Engine:100% Rudder:35°	
FAH to FAS	521 s	11.09cbls	Advance	4.74 cbls
HAH to HAS	804 s	12.14 cbls	Transfer	2.27 cbls
SAH to SAS	865s	10.28 cbls	Tactical Diameter	5.48 cbls

註：本計畫整理

表 4.3-4 為 LNG216 船模主機系統配置以及船速與轉速對應表 (Engine Telegraph Table)。本船主機(main engine)型式採用低速柴油引擎，雙俾、雙軸與雙螺槳配置。主機最大功率(Maximum power)2×15,560 kW，轉速每分鐘 85 轉(RPM)，最低穩定輸出轉速為 20RPM，倒俾輸出最大功率達進俾功率的 51%。螺槳採用固定螺距螺槳(FPP)。船速與轉速對應俾速表顯示俾速海上全速(FSAH)，主機最大輸出(MCR)14,500 kW，螺槳轉速 85RPM，船速 19.5 節。

表 4.3-4 LNG216 船模主機系統配置

Main Engine (s)				
Type of Main Engine	Slow speed diesel	No. of propellers	2	
Number of Main Engine	2	Propeller rotation	Outward	
Maximum power(MCR)	15,560 kW	Propeller type	FPP	
Astern power	51% ahead	Min. RPM	20	
Engine Telegraph Table				
Manoeuvring Engine order	RPM	Speed (knots)		
		Deep water	Engine power,kW	Pitch ratio
Full sea Ahead	85	19.5	14,500	1
Full Ahead	60	13.8	4,786	1
Half Ahead	48	11.0	3,297	1
Slow Ahead	37	8.5	1,143	1
Dead Slow Ahead	26	6.0	402	1
Dead Slow Astern	-25	-2.8	571	1
Slow Astern	-36	-4.1	1,993	1
Half Astern	-42	-4.8	2,753	1
Full Astern	-63	-6.7	7,038	1

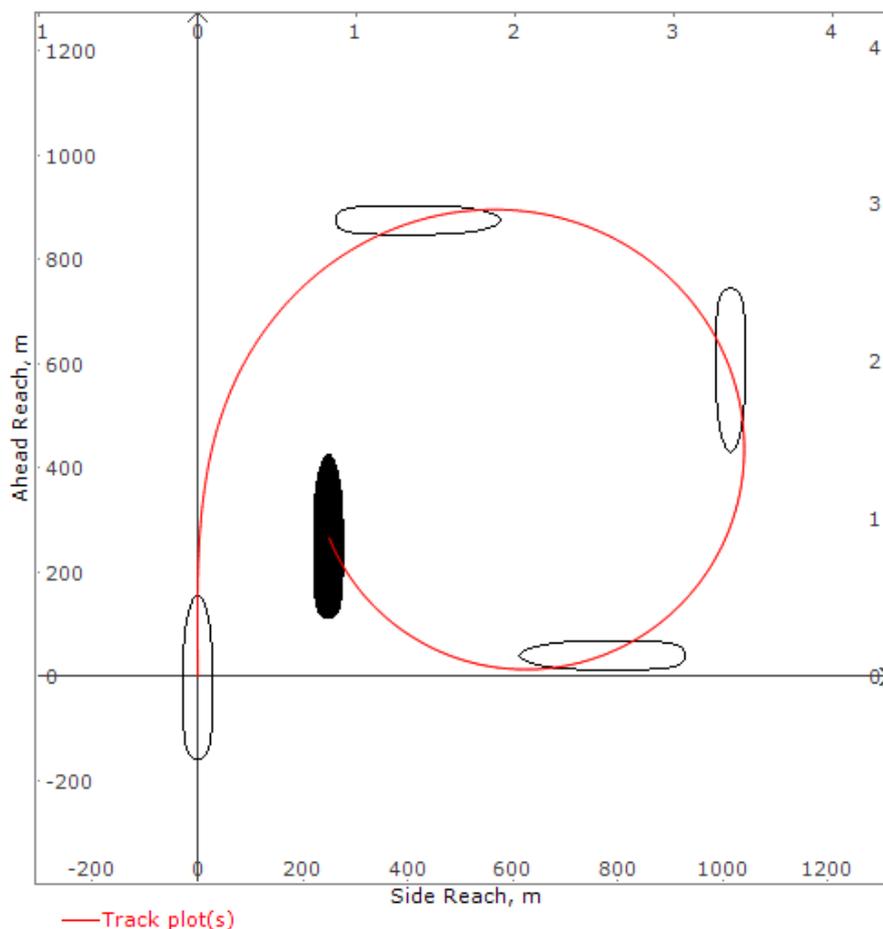
註：本計畫整理

表 4.3-5 為 LNG216 船模深水與淺水條件迴旋圈測試結果比較表，淺水條件結果是以水深吃水比為 1.5 時，淺水效應(shallow water effect)

的計算結果。淺水條件迴旋圈測試結果，縱距約增加 340 公尺，橫距增加約 210 公尺。淺水效應對操縱性能與停船性能的影響隨著水深吃水比的減小，操縱性能與停船性能均呈現非線性衰減。表 4.3-6 為貨櫃船本船之 Z 型操縱試驗結果，Z 型運動超射角(overshoot angle)約為 9°。

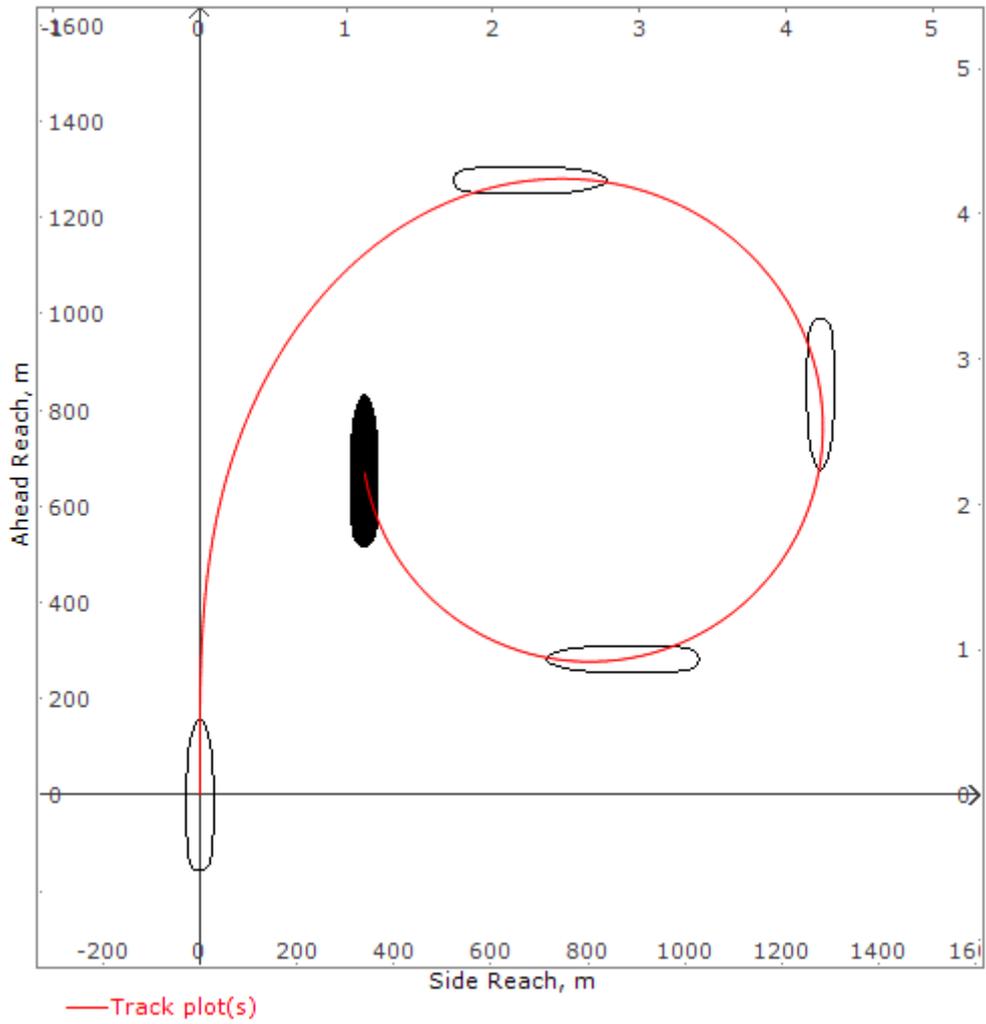
表 4.3-5 LNG216 船模深水與淺水迴旋圈測試結果

**35° Turning Circles**  
(Deep water Test)



Eng. %	Rudd. Deg	Advance cbls	Transfer cbls	Tract. Dia. cbls	Final ROT Deg/min	Final speed knots	Final time second
100	35	4.74	2.27	5.48	36	8.1	571
100	-35	4.74	-2.27	-5.48	-36	8.1	571

### (Shallow water Test)

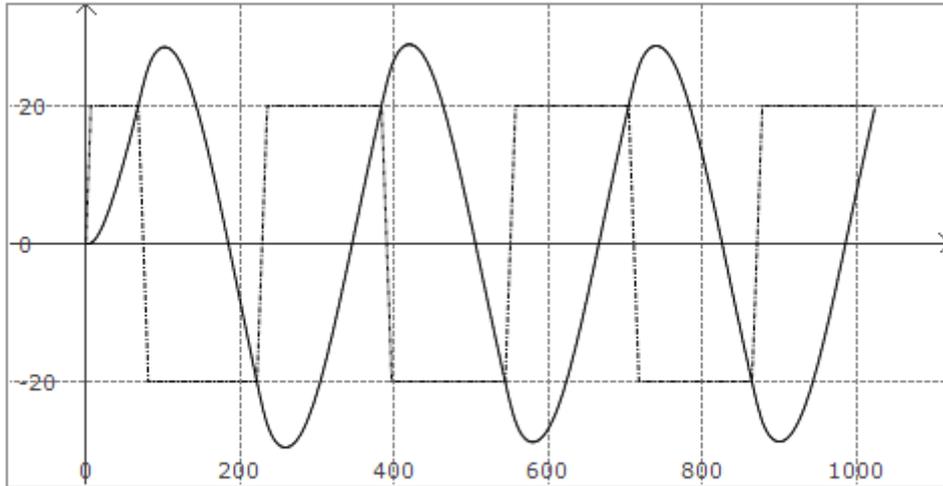


Eng. %	Rudd. Deg	Advance cbls	Transfer cbls	Tract. Dia. cbls	Final ROT Deg/min	Final speed knots	Final time second
100	35	6.62	3.40	6.72	39	10.3	593
100	-35	6.62	-3.40	-6.72	-39	10.3	593

註：本計畫整理

表 4.3-6 LNG216 船模 Z 型操縱試驗圖

20°/20° Zig/Zag Test



— Heading, deg(Solid)  
 — Rudder, deg(Dash-Dotted)

Initial speed	15.2 knots
Heading deviation	20 deg
Ordered rudder	20 deg
1st overshoot	8.5 deg
2nd overshoot	9.5 deg
3rd overshoot	8.9 deg
Period	342 s
Final speed	10.4 knots
Final time	1025 s

註：本計畫整理

#### 4.4 26.6 萬立方公尺級 LNG 船模操縱性能設計

26.6 萬立方公尺級 LNG 船模(代號 LNG266)數學模型為研究團隊參考現有 Qflex 等級 LNG 船設計資料所設計，其操縱參數資料乃參考相近之實船性能資料所建構。研究團隊將進一步規劃計算本船操縱性能參數，如主機轉速與船速表(engine telegraph)、迴轉操縱參數進距(advance)、橫距(transfer)、緊急剎俾終止距(crash stopping)等等，作為本船數學模型建置的基本操作性能指標。

本試驗船模建置之 LNG 本船領航卡如表 4.4-1，主要尺寸與本船相關配置如表 4.4-2。貨櫃船本船之基本操舵特性與基本操縱性能分析結果如表 4.4-3 所示。本船裝置半懸掛舵(semi suspended rudder)，最大舵角 45 度，配置兩台舵機，由最大左舵角至最大右舵角的操舵時間 37 秒。停船測試結果；由全俾前進(FAH)至全倒俾(FAS)的停止距離，即緊急倒俾之衝止距(Crash stop distance)，約 13.54cbls (2507 公尺) 相當為 7.3 倍船長，停止時間約 11 分鐘。本船滿載之深水迴旋圈測試結果，以滿舵 45 度迴旋，縱距(advance)約 5.16cbls(956 公尺)，相當於 2.77 倍船長。橫距(transfer)約 2.21cbls(409 公尺)。戰術直徑(Tactical diameter)約為 5.04cbls(933 公尺)，相當於 2.71 倍船長。

表 4.4-1 LNG266 船模之本船領航卡

PILOT CARD			
Ship name	266,000m <sup>3</sup> LNG	Year built	2018
IMO Number	N/A	Call Sign	N/A
Load condition	Full loaded		
Displacement	170,649 tones	Draft forward	12.0 m
Deadweight	120,960 tones	Draft forward extreme	12.0 m
Capacity	216,000m <sup>3</sup>	Draft after	12.0 m
Air draft	53.9 m	Draft after extreme	12.0 m

註：本計畫整理

表 4.4-2 LNG266 船模之本船主要尺度(ship particular)

Ship Particular			
Length over all (LOA)	345.0 m	Type of bow	Bulbous
Breadth	53.8m	Type of stern	Transom
Anchor(s) (No. / types)		2 ( Port Bow / Stdb.Bow)	
No. of shackles		14/14	1 shackle=27.5 m

註：本計畫整理

表 4.4-3 LNG266 船模基本操縱特性

Steering characteristics				
Steering Device	Semisuspended		Number of bow thrusters	N/A
Maximum angle	45 degrees		Power	N/A
Neutral effect angle	0 degrees		Number of stern thrusters	N/A
Hard over to over (2pumps)	37 seconds		Power	N/A
<b>Stopping</b>			<b>Turning circle</b>	
Description	Full Time	Head reach	Ordered Engine:100% Rudder:45°	
FAH to FAS	675 s	13.54cbls	Advance	5.16cbls
HAH to HAS	881 s	12.69 cbls	Transfer	2.21 cbls
SAH to SAS	1049s	10.54 cbls	Tactical Diameter	5.04 cbls

註：本計畫整理

表 4.4-4 為 LNG266 船模主機系統配置以及船速與轉速對應表 (Engine Telegraph Table)。本船主機(main engine)型式採用低速柴油引擎，雙俾、雙軸與雙螺槳配置。主機最大功率(Maximum power)2×20,000 kW，轉速每分鐘 83 轉(RPM)，最低穩定輸出轉速為 20RPM，倒俾輸出最大功率達進俾功率的 60%。螺槳採用固定螺距螺槳(FPP)。船速與轉速對應俾速表顯示俾速海上全速(FSAH)，主機最大輸出(MCR)19,020 kW，螺槳轉速 83RPM，船速 19.5 節。

表 4.4-4 LNG266 船模主機系統配置

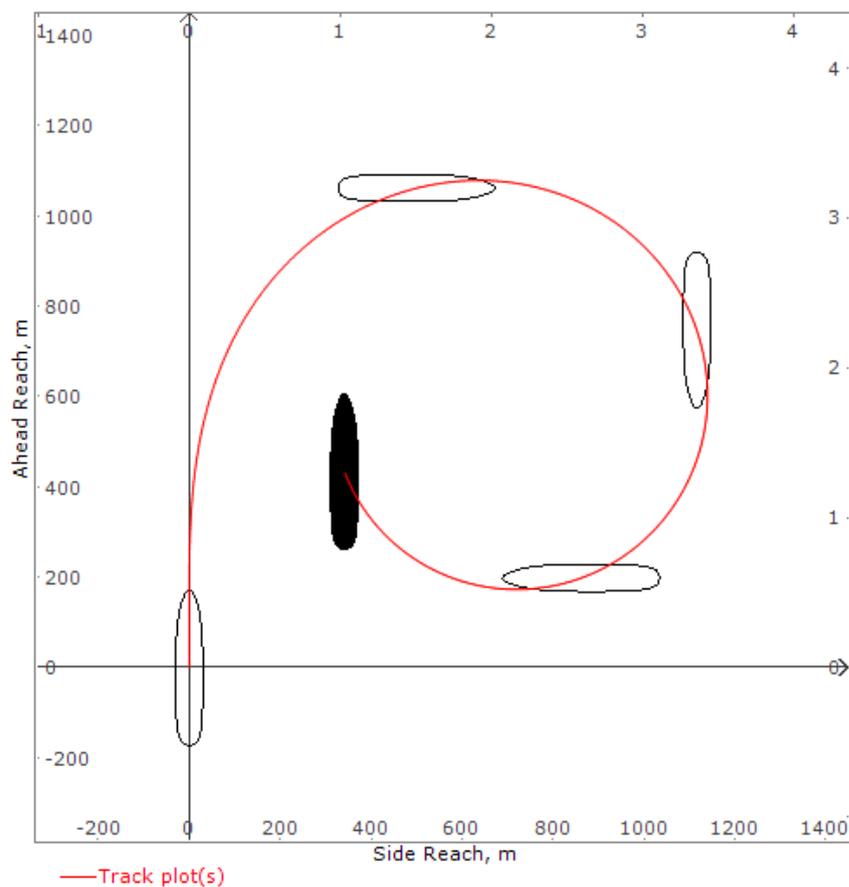
Main Engine (s)				
Type of Main Engine	Slow speed diesel	No. of propellers	2	
Number of Main Engine	2	Propeller rotation	Outward	
Maximum power(MCR)	20,000 kW	Propeller type	FPP	
Astern power	60% ahead	Min. RPM	20	
Engine Telegraph Table				
Manoeuvring Engine order	RPM	Speed (knots)		
		Deep water	Engine power,kW	Pitch ratio
Full sea Ahead	83	19.5	19020	1
Full Ahead	60	13.3	11,110	1
Half Ahead	50	9.8	6,032	1
Slow Ahead	36	6.8	2,502	1
Dead Slow Ahead	26	4.9	1,022	1
Dead Slow Astern	-26	-3.1	1,415	1
Slow Astern	-36	-4.2	2,923	1
Half Astern	-50	-5.1	5,031	1
Full Astern	-60	-7.1	9,112	1

註：本計畫整理

表 4.4-5 為 LNG266 船模深水與淺水條件迴旋圈測試結果比較表，淺水條件結果是以水深吃水比為 1.5 時，淺水效應(shallow water effect)的計算結果。淺水條件迴旋圈測試結果，縱距約增加 243 公尺，橫距增加約 133 公尺。淺水效應對操縱性能與停船性能的影響隨著水深吃水比的減小，操縱性能與停船性能均呈現非線性衰減。表 4.4-6 為貨櫃船本船之 Z 型操縱試驗結果，Z 型運動超射角(overshoot angle)約為 9°。

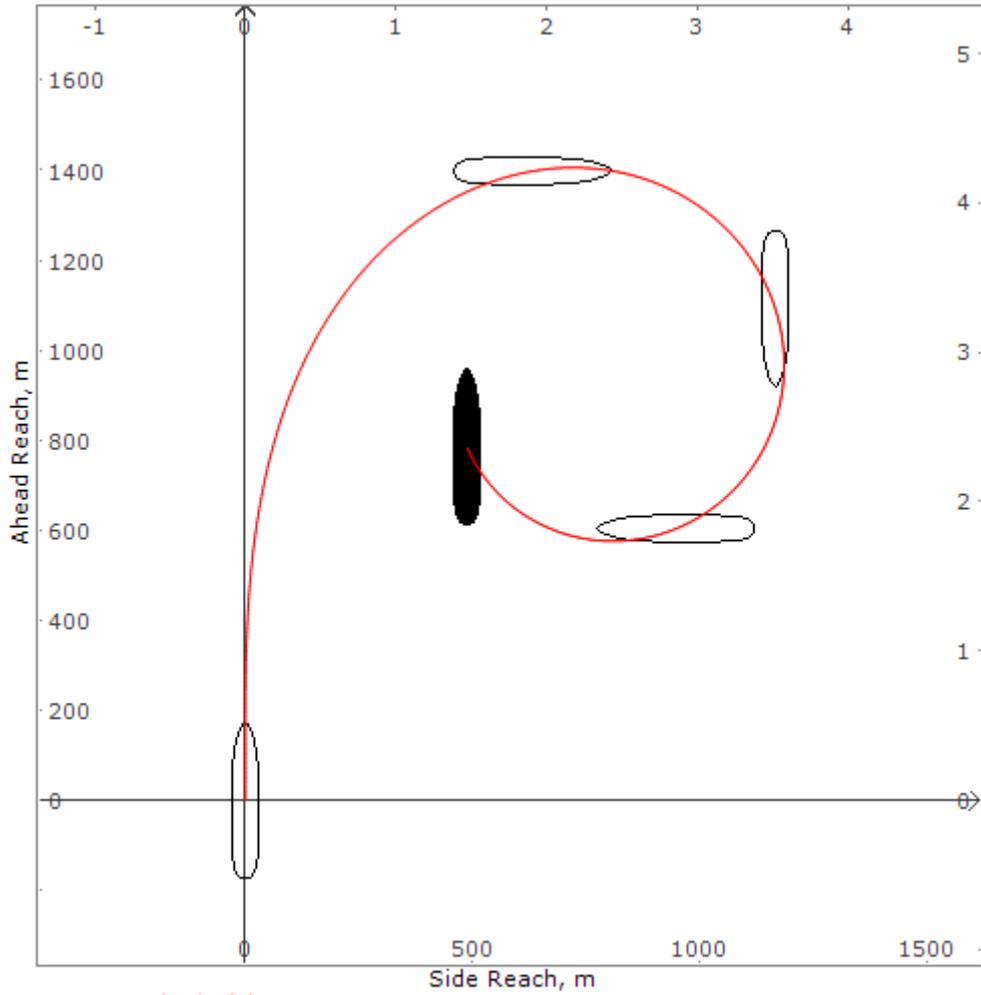
表 4.4-5 LNG266 船模深水與淺水迴旋圈測試結果

### 35° Turning Circles (Deep water Test)



Eng. %	Rudd. Deg	Advance cbls	Transfer cbls	Tract. Dia. cbls	Final ROT Deg/min	Final speed knots	Final time second
100	35	5.74	2.70	6.03	31	7	662
100	-35	5.74	-2.70	-6.03	-31	7	662

(Shallow water Test)

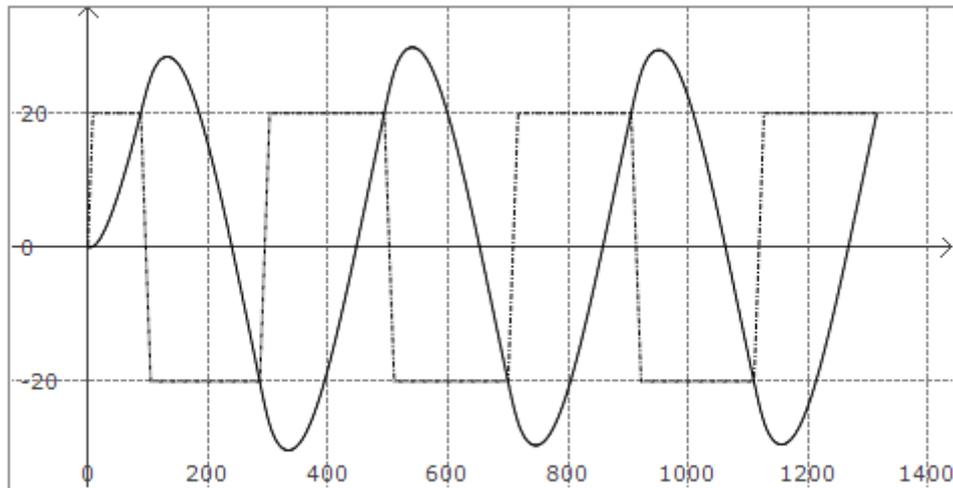


Eng. %	Rudd. Deg	Advance cbls	Transfer cbls	Tract. Dia. cbls	Final ROT Deg/min	Final speed knots	Final time second
100	35	7.55	3.42	6.30	30	6	675
100	-35	7.55	-3.42	-6.30	-30	6	675

註：本計畫整理

表 4.4-6 LNG266 船模 Z 型操縱試驗圖

20°/20° Zig/Zag Test



— Heading, deg(Solid)  
 - - - Rudder, deg(Dash-Dotted)

Initial speed	14.8 knots
Heading deviation	20 deg
Ordered rudder	20 deg
1st overshoot	8.4 deg
2nd overshoot	10.2 deg
3rd overshoot	9.8 deg
Period	438 s
Final speed	9.4 knots
Final time	1314 s

註：本計畫整理