

超軽量動力機のための木製双フロートの設計と製作（第1報）

First report: A Design and Built of Wooden Floats for Micro-Light-Airplane

伊藤 宏一¹⁾ 宮城 調春²⁾ 大久保 富彦³⁾ 村田 光一⁴⁾ 春山 浩之⁵⁾ 菅野 哲夫⁶⁾

Hirokazu Itoh¹⁾ Chohshun Miyagi²⁾ Tomihiko Ookubo³⁾ Koichi Murata⁴⁾

Hiroyuki Haruyama⁵⁾ Tetsuo Kanno⁶⁾

The wooden floats for the micro-light-airplane were designed after Cresswell Walker and built by hand. They were based on standard boat-building techniques and on plans simplified their hull shape in order to facilitate their construction with marine ply-wood. The design was assisted with three-dimensional computer aided design software and could be scaled to any displacement required. In this report, some procedures calculating the buoyancy of each water tightness compartment and the limit of capsizing were mentioned. The building process of the wooden floats was explained in detail, some useful techniques were introduced. The construction of the wooden floats was completed in December 2006, and MAXAIR DRIFTER installing these floats succeeded in the water taxing.

Keywords: design, built, wooden floats, micro-light, airplane

1. ま え が き

わが国において輸送手段としての航空機は一般的になったが、空を自由に飛んでみたいという個人の願望に対しては、欧米に比べ格段の遅れがあると言わざるを得ない。

航空法第10条第4項は、耐空証明を受けなければ航空の用に供することが出来ないと規定しているが、地上の人および他の航空機に対する危険や環境問題などを惹起せず、搭乗者の安全を確保しうるものについては、同法第11条第1項但し書きの適用により、国土交通大臣の許可および制限の範囲内で飛行を可能とする特例がある。スポーツあるいはリクリーションとしての飛行を目的とする超軽量動力機⁽¹⁾は、本但し書きにもとづく航空機であり、わが国における航空活動のすそ野を構成し、その健全な発達によって航空思想の普及と進歩発展に寄与することが期待されている。

一方、この種の航空機のための飛行場用地の確保が課題となっているが、水上飛行機に関しては、国土交通大臣が離着水を禁止している水面以外では、水面管理者の承諾を得れば、離着水が可能である。

そこで、著者らは、超軽量動力機を水上機に改造し、航空局より試験飛行許可を取得、実際に飛行することを目的として超軽量動力機のための双フロートを設計製作することにした。

2. 設 計 方 針

欧米では自作航空機を個人でも製作可能なほど関連市場が充実しており、必要な技術教育が行われ、設計・製作・運用に必要な情報が提供されている。また、カナダのフルロータス社は、超軽量動力機に装着可能な軟質ゴムフロートを製造しており、アマチュア・ホームビルダーによるデザイン・プランも公開されている。これに対して、わが国において超軽量動力機に自作フロートを装着し、水上機に改造して航空局より試験飛行許可を取得した前例はない。

供試機体には著者らが操縦技量認定を取得済みのマックスエアー社製ドリフターXP-R503Lを使用した。単フロートの場合、翼端に補助フロートが必要となり、主翼の改造を伴う。一方、双フロートの場合、既存の主脚支持部を利用して装着可能であることから双フロート式を採用し、左右同一形状とすることで製作工数を削減した。材質には金属、FRP、木材が考えられるが、製作の難易度や完成後の改造が容易な点などを考慮して木製を選択した。

木製双フロートの設計においては、実機既存フロートおよびカナダのCresswell Walker⁽²⁾の設計プランを参考とし、耐水合板での製作を考慮して直線および単純曲線でフロート外形を構成、断面形状は五角形とし、デッキは平面、ハルはV形として造波抵抗の低減および着水衝撃の緩和を狙った。内部

1) 東京都立産業技術高等専門学校 教授 2) 新東洋機械工業株式会社 常務取締役
3) 東京都立産業技術研究センター 主任研究員 4) 富士重工業株式会社航空宇宙カンパニー 主事
5) ムーニーフライングクラブ 6) 木製フロート同好会

構造は、8個の水密区画を7枚の隔壁で構成し、各隔壁の頂点を檜の縦通材で結合した。各隔壁がフロート形状を定め、水密区画を構成するとともに、荷重を分散させる主要構造体を構成し、これに外板を接着することで面構造体とした。

設計には三次元 CAD (AutoCad Inventer) を利用することでフロート形状の歪みを設計段階で修正することが可能になった。さらに、完成時の重量、重心位置、体積、慣性主軸などを検討しながら設計を行うことが出来た。また、三面図を原寸大で印刷することで正確な製作用テンプレートが得られたことは加工精度を確保するうえで大きな効果があった。

3. 木製双フロートの設計

3.1. 耐空性審査要領

水上用超軽量動力機の飛行安全を確保するため、耐空性審査要領第Ⅱ部(耐空類別が普通 N 類の飛行機)の「2-9 地上および水上特性」、「3-8 水上荷重」、「4-6 フロートおよび艇体」を適用して解析を行い、設計結果の妥当性を検証し、製作過程および今後の水上試験方法、飛行規程(運用限界指示)の策定指針とした。

付図 1 は、木製双フロートの設計検討の流れである。実際には検討過程、製作過程で問題が生じ、設計を見直すという繰り返し作業となった。

3.2. 水密区画および浮力

付図 2 に最終仕様(MK383)の三面図、付図 3 に隔壁断面図を示す。ドリフター XP-R503L の最大離水重量 392kg に対して、Cresswell Walker の設計プランは、最大離水重量 254kg の mini-MAX 用である。そこでまず、双フロート 1 本あたりの排水量をドリフターの最大離水重量と同じ 392 リットルとし、浮力余裕 100% を目安とした。具体的には、排水量体積比の三乗根で寸法を拡大し、フロート形状を決定した。つぎに木材の構造重量を考慮した有効浮力を算出した結果、371kg となった。

最大離水重量に対する浮力割合は下式より 189% となり、耐空性審査要領 4-6-1-1 における「80% 以上の浮力の余裕」を満たすことが分かった。

$$\begin{aligned} \text{浮力割合} &= \frac{\text{有効浮力}}{\text{最大離水重量}} \times 100\% \\ &= \frac{\{392\text{kg} - (35 \times 0.42 + 12 \times 0.5)\text{kg}\} \times 2\text{本}}{392\text{kg}} \times 100 = 189\% \end{aligned}$$

フロート破損による浸水拡大を防ぐために、耐空性審査要領 4-6-1-2 では、「4 個以上の水密区画」を設けることを求めている。表 1 は、真水中(比重 1.0 とする)、喫水線がデッキ面まで上昇した場合の各水密区画の内部体積をフロート 1 本あたりで求めた結果である。第 3 水密区画(C-D)の内部体積は 71 リットルで全内部体積の 21%、第 4 水密区画(D-E)は 57 リットル、17%となる。

3.3. 転覆限界

片側のフロートの 2 区画に浸水した場合を想定して転覆の可能性を検討した。フロートが最も浮力を失う状況は、第 3 および第 4 水密区画に同時浸水した場合であり、当該区画の排水体積の和は 146 リットルとなる。1 本のフロートの浮力が 371kg であるため、片側だけ浮力を 146kg 失った場合、浸水した方のフロートの浮力は 225kg となる。よって、下式より

$$\begin{aligned} \text{浮力割合} &= \frac{\text{片側浸水後の浮力}}{\text{最大離水重量} / 2\text{本}} \times 100\% \\ &= \frac{225\text{kg}}{392\text{kg} / 2\text{本}} \times 100 = 115\% \end{aligned}$$

想定した状況でも浮力余裕は 15% あるため転覆は回避できることが分かった。しかし、喫水線が下がるとともに最大離水重量を超過するため離水は不可能となることも分かった。

他にも耐空性審査要領を満たすために検討すべき事項があるが、第 2 報で報告する。

4. 木製双フロートの製作⁽³⁾

工程 1 図 1 参照。CAD から原寸大で出力した断面図をテンプレートとして、マリン用シナ合板から隔壁を糸鋸盤で切り出した。縦通材が嵌合する切り欠き部の加工精度は、完成時の外板の歪みの原因となるので丁寧に手仕上げした。

隔壁はすべて厚さ 4mm のマリン用シナ合板を使用した。バウ隔壁 A、ステップ隔壁 E' およびスターン隔壁 I は、最終的に 2 枚張りしており、8mm 材の使用を推奨する。

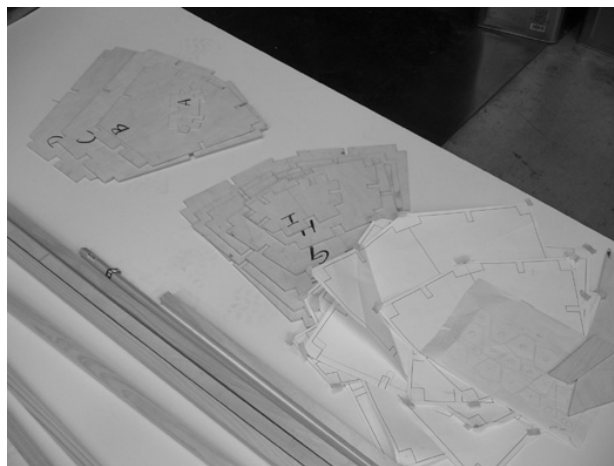


図 1 原寸大で出力した断面図と切り出した隔壁

工程 2 図 2 参照。組み立て台は、厚さ 20mm のスプルー材を使用して製作し、作業面に接着剤の付着防止のためにマイラーフィルムを貼った。組み立て台は、後工程で縦通材の曲げ応力がかかるため、出来る限りしっかりしたものが良い。

表 1 水密区画の体積（三次元 CAD で求めた設計値）

水密区画		A-B	B-C	C-D	D-E	E-F	F-G	G-H	H-I	合計
区画間の距離	mm	474	474	474	372	474	474	474	474	3730
排水量（水密区画の外部体積）	ℓ	28	65	81	65	58	45	32	18	392
浮力体積（水密区画の内部体積）	ℓ	25	57	71	57	51	40	28	16	345
隔壁および縦通材の体積 （檜，エゾマツ，乙種，比重 0.42）	ℓ	—	—	—	—	—	—	—	—	35
外板（厚さ 3mm）の体積 （1 類耐水ラワン合板 比重約 0.5）	ℓ	—	—	—	—	—	—	—	—	12

接着剤には、接着強度に優れる二液混合タイプのエポキシ接着剤（セメダイン 1500）を使用した。この接着剤の使用上の留意点は、混合比率を正確に守ることと、使用量だけ調合し、調合容器（紙コップを用いた）は使い捨てにすることである。

まず、組み立て台に中心線とこれに直交する隔壁線を引き、デッキ縦通材をまっすぐに固定した。固定には、もくねじを使用し、外板を接着した後、もくねじを抜けるように組み立て台の裏側からねじ込んだ。フロートの中心をバウからスターンまで貫通するデッキ縦通材が隔壁配置の基準となる。

次に、位置決め用の直角三角板を用いて各隔壁を所定の位置に配置し、デッキ縦通材とエポキシ接着剤で接着した。接着剤が硬化するまでの仮固定には釘を利用したが、全ての縦通材を接着した後に抜くことを想定して打ち込み方向を考慮しておく必要がある。なお、位置決め用の直角三角板の固定にはもくねじを使用した。

工程 3 図 3 参照。縦通材をエポキシ接着剤で隔壁に接着した。直線部分の多い縦通材からはじめ、左右対称に作業を進めていった。ナイロンロープやクランプで仮固定しながら、隔壁側面との擦り合わせを済ませてから接着作業を行った。

縦通材には檜の角材を使用した。キール A は 24×60mm、フレア B とガンネル D は 12×24mm、デッキ F、ストリンガー E およびチェーン C は 24×24mm を使用した。図 3 では前部キールの接着準備をしており、フレアはすでに接着されている。

工程 4 図 4 参照。前部キールなど曲率半径の小さい縦通材は、過熱蒸気で軟化させながら、荷重をかけて曲げ加工した。カヌーの製作では厚さ 60mm が必要な場合、厚さ 10mm 材を 6 枚張り合わせる工法がある。接着作業を 6 回繰り返す必要があるが、曲げ加工がほとんど不要となるため作業性は大幅に改善されると思われる。

工程 5 図 5, 6 参照。すべての縦通材の接着が終わったら、位置決め用の直角三角板を取り外すが、デッキ縦通材のもくねじは残しておいた。次に、縦通材の補強を行った。縦通材

は、ステップ部で前後に分かれているが、ステップ後部側の縦通材を前部側に貫通させておき、くさび状の部材を挿入接着した。



図 2 組み立て台と位置決め用の直角三角板を用いて所定の位置に配置した隔壁

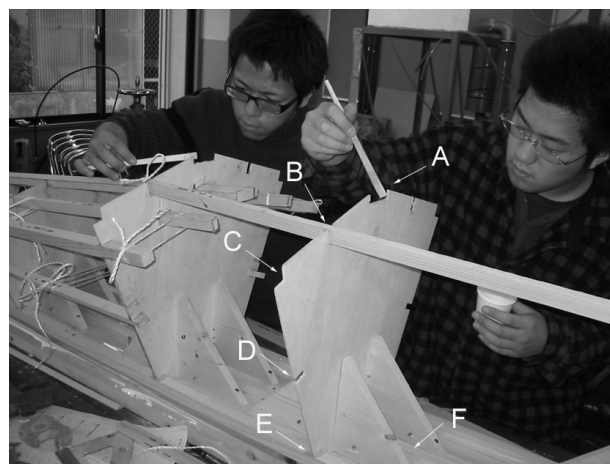


図 3 隔壁と縦通材の接着作業

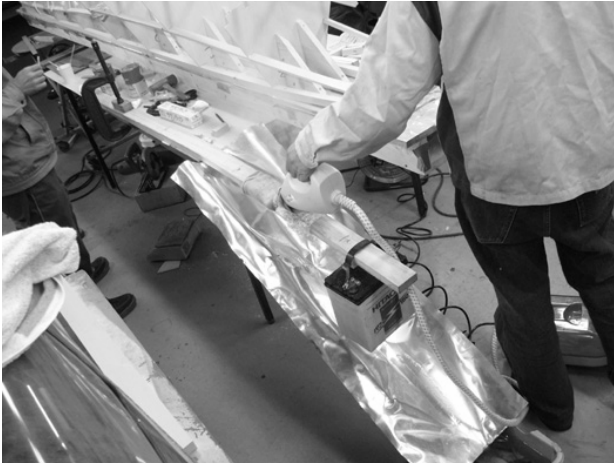


図 4 キール材の曲げ加工



図 5 フロート支持部の内部補強



図 6 フロート支持部のための内部補強板の製作。スプレッダーとの締結ボルトはこの補強板に裏側から圧入接着した。

機体への装着は、デッキ面上にA6016-T6製角材(フロート側支持部, 図 10 の A)をボルト締結し, このフロート側支持部とスプレッダー(図 10 の B)をボルト締結した。このフロート側支持部は, 隔壁 C-D および F-G 間でボルト締結されるため, 両隔壁間に補強板を接着した。

工程 6 図 7 参照。内壁面にエポキシレジンを塗布し, 防水処理を行ったのち, 順次外板を接着していく。仮止めには当て板をかませた細釘を用いた。外板には厚さ 3mm の 1 類耐水ラワン合板を使用し, 合わせ面が隔壁から外れるように現合し, 外板を接着したあとで裏打ちをした。

工程 7 図 8, 9 参照。外板の合わせ部など浸水の恐れのある個所, 着岸時に磨耗の恐れのあるキール面, 着水時に衝撃荷重がかかる前部ハルなどに FPR 補強を行ったのち, フロート全面にエポキシレジンを塗布し, 耐水保護を施した。仮止めの細釘を抜いたあとの穴は, 爪楊枝を挿入, 接着して前処理した。なお, 各水密区画のデッキ面に, 水抜き用のサービスホール(図 10 の C)を装着した。

5. あとがき

平成 18 年 12 月, 木製双フロートを装着した供試機は霞ヶ浦で進水し, 設計通りの喫水を確認, 離岸・着岸試験, アイドルタクシー, 8 の字滑走を行った。現在, 第 1 段階(ジャンプ飛行)の試験飛行許可を東京航空局に申請準備中である。許可申請に必要な荷重検討結果, フロート支持部の強度検討など, 追って第 2 報で報告したい。

航空工学を学ぶ学生はおろか, その教員でさえ飛行機の操縦経験がない現状は, 欧米の大学の航空宇宙工学科とあまりに隔たりが大きく, わが国の航空産業の発展を促すうえで是正すべき事態である。また, 超軽量動力機に自作フロートを装着し, 水上機に改造して航空局より試験飛行許可を取得した前例はない。本報告が後進の参考になることを期待する。

最後に, 製作に協力して頂いた都立産業技術高等専門学校の学生諸君, 野島工業株式会社 代表取締役 野島幸雄氏, 貴重なご助言を頂いた守谷飛行連盟理事長 樋口今朝信氏, はじめ関係各位にこの場を借りて御礼申し上げます。

参考文献

- (1) 国土交通省 航空局航空機安全課: 国空機第 1142 号(サーキュラーNo.1-007) 超軽量動力機又はジャイロプレーンに関する試験飛行等の許可について, 2006 年 2 月 13 日
- (2) Cresswell Walker: Muk-Tuk Takes to the Water, KITPLANES, USA, p76-79, May, 1997
- (3) L.Pazmany 著, 阿部郁重訳: アマチュアのための軽飛行機製作法, 日本航空技術協会, 1974 年



図7 外板の接着作業

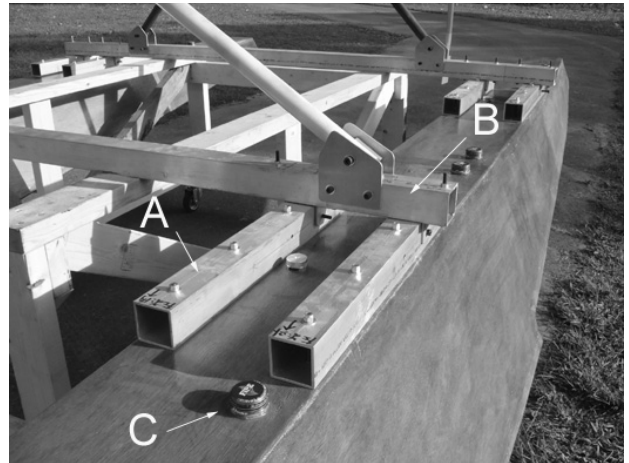


図10 フロート側支持部とスペルダラー



図8 外板を仮止めした細釘穴の処理

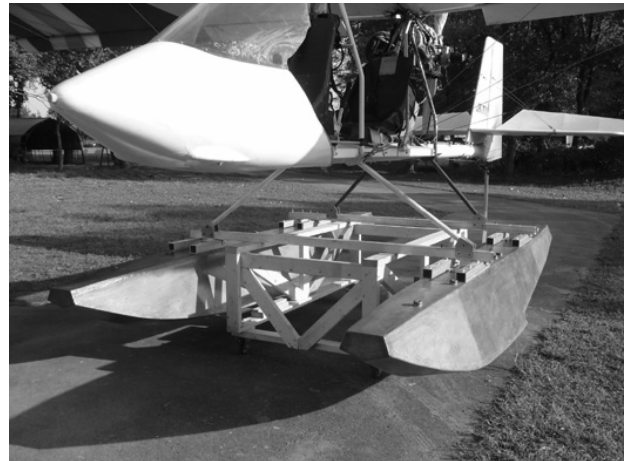


図11 フロートの装着状況

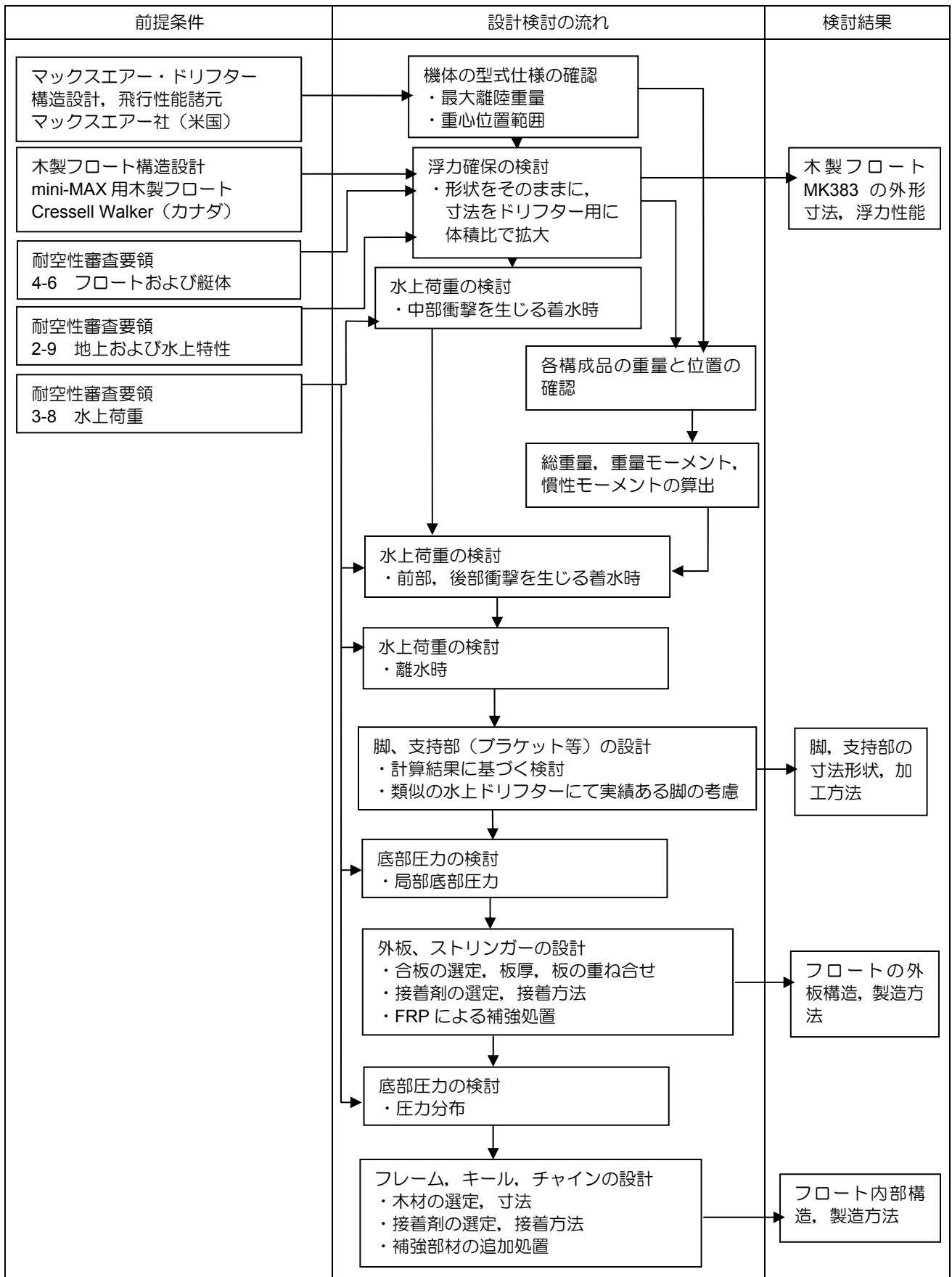


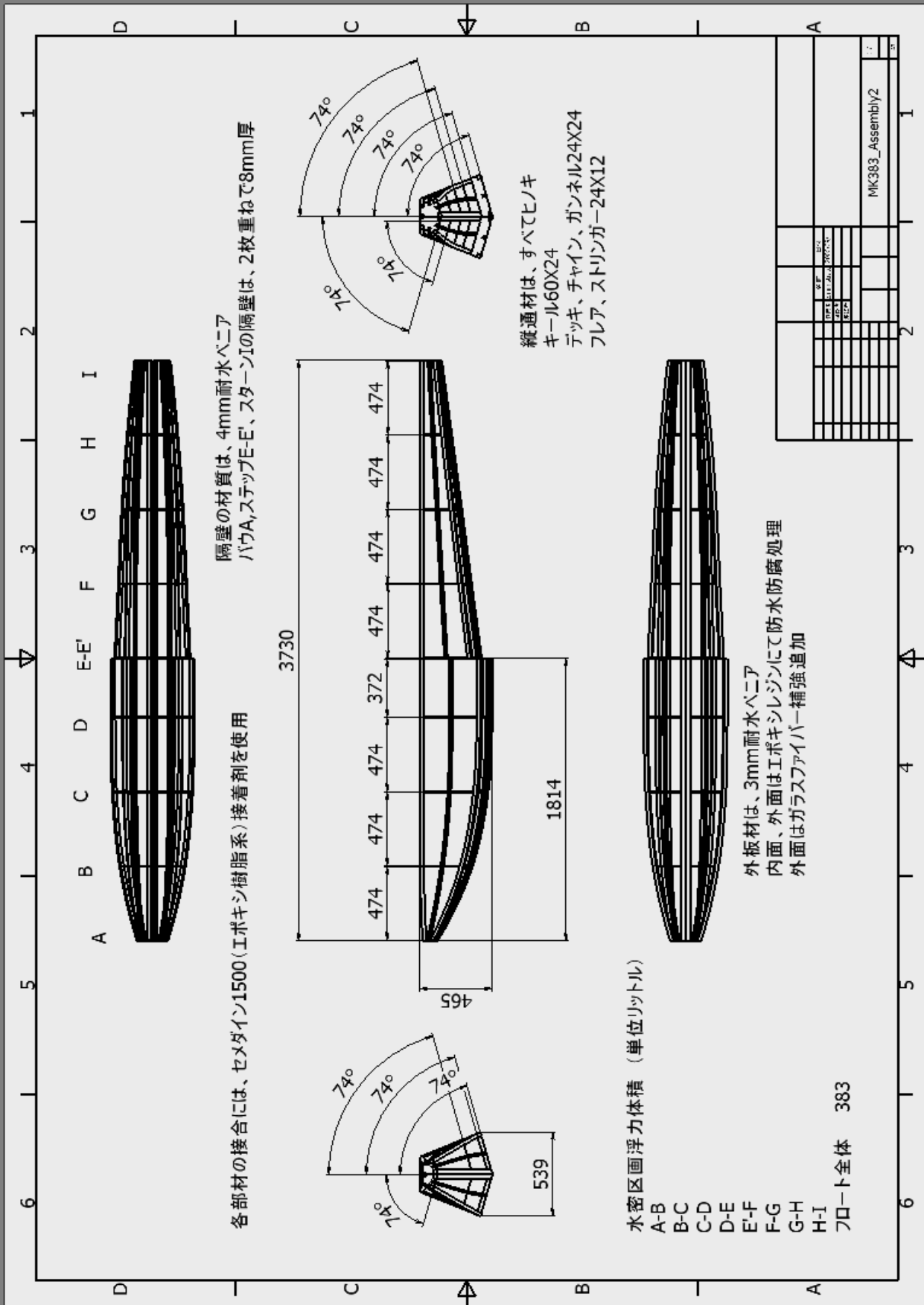
図9 外板合わせ部のFRP補強



図12 完成写真

付図1 設計検討の流れ





隔壁の材質は、4mm耐水ペニア
バウA, ステップE-E', スターンの隔壁は、2枚重ねで8mm厚

各部分材の接合には、セメダイン1500(エポキシ樹脂系)接着剤を使用

縦通材は、すべてヒノキ
キール60X24
デッキ、チャイン、ガンネル24X24
フレア、ストリンガー-24X12

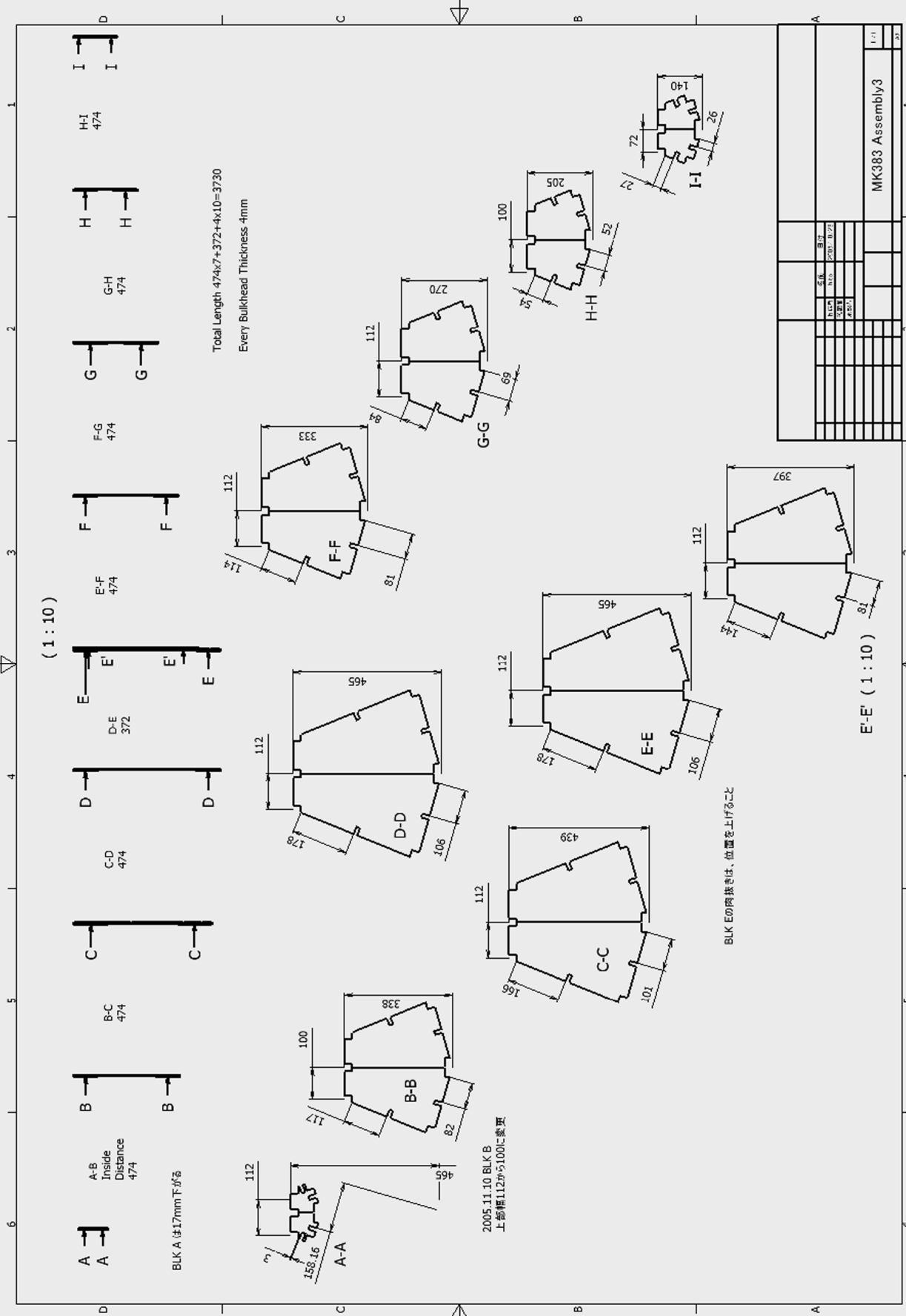
外板材は、3mm耐水ペニア
内面、外面はエポキシレジンにて防水防腐処理
外面はガラスファイバー補強追加

水密区画浮力体積 (単位リットル)

- A-B
- B-C
- C-D
- D-E
- E-F
- F-G
- G-H
- H-I
- フロート全体

383

A		B		C		D		E		F		G		H		I	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
MK383_Assembly2																	



(1 : 10)

E'-E' (1 : 10)

BLK Eの肉抜きは、位置を上げること

2005.11.10 BLK B
上距離112から100に変更

品名	組立	数量	単位
品番	110	300	個
仕様			
材料			
加工			
検査			
備注			
MK383 Assembly3			
			1/1
			3/3