

國立交通大學

建築研究所

碩士論文

數位動態構築

Digital Tectonics and Dynamicity

研究生：藍振育

指導教授：侯君昊 教授

中華民國101年6月

數位動態構築

Digital Tectonics and Dynamicity

研究生：藍振育 Student: Cheng-Yu Lan

指導教授：侯君昊 Advisor: June-Hao Hou

國立交通大學

建築研究所

碩士論文

A Thesis

Submitted to Graduate Institute of Architecture

College of Humanity and Social Sciences

National Chiao Tung University

in partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master of Science in Architecture

June 2012

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國101年6月

數位動態構築

學生：藍振育

指導教授：侯君昊

國立交通大學建築所 數位建築組

摘 要

因為近代數位設計工法的進步與普及，對於建築、機械、工業設計領域提供了更精準、高效率的設計製造方案，面對日漸複雜的機構組件乃至於動態構件的設計，數位工具輔助與數值機具製造儼然成為必要的產業應用技術。

這是一個源起於對「動態機構」數位輔助設計的好奇，而著手大量的收集資料、嘗試軟體的應用、學習機具的操作，並實做出成品。本論文所呈現作品圍繞在數位化設計動態機構工程的議題上，包括三類研究主題：一) 基於人因需求的智慧化互動燈具[作品01,02]、二) 自然飛行系統傳動機構仿生獸[作品03]、三) 情境式動態視覺體驗空間[作品04]。從設計階段融入數位媒材的輔助，以解決動態機構設計階段會面臨的問題與考驗，並透過數值機具輸出實做成品，最後驗證提出的設計方法與操作認知。

Digital Tectonics and Dynamicity

Student : Cheng-Yu Lan

Advisor : June-Hao Hou

Graduate Institute of Architecture
National Chiao Tung University

ABSTRACT

Modern digital design method of the progress and popularity provide more precision, high efficiency of the manufacturing program for architectural, mechanical, industrial design field. Facing the increasingly complex institutions component to the dynamic component. Digital tools assisted and the manufacturing of CNC machinery has become a necessary for industrial applications.

Originated in a curiosity of "dynamic system" in digital aided design, I began to collect massive data, attempt software application, learning the operation of equipment, and made the physical model. Therefore this paper focus on the issues of digital design, dynamic System projects proposed three categories of research topics: 1) Human requirement for intelligent interactive lighting based on human factors engineering, 2) the transmission of natural flight systems like bionic beast, 3) a space for dynamic, visual , motion experience. The design stage into the digital media auxiliary to solve the problems produced in the dynamic mechanism design stage , and make physical model by CNC machinery . Finally check out the proposed design method and operation.

Contents



01. Flora Lamp

04

智慧化互動照明系統



02. Emerging Lamp

18

自主式柔光照明系統



03. Aerial Beast

29

無人飛行仿生獸



04. Monster Pavilion

39

動態視覺展示空間

05. Conclusion

46

結論



01.Flora Lamp

Smart lighting / Diffuse illumination regulation

Individual work

Nov 10, 2010

Advisor: June-Hao Hou

Exhibited in MOCA Studio, May 25 - Jun 30, 2012

NCTU Arts Center, Mar 03 - Mar 22, 2011

Published in Make Taiwan: 03



Flora Lamp / 智慧化互動照明系統

設計構想：

建築空間中，光的存在無遠弗屆，伴隨著千變萬化的照明形式。如今透過設計及藝術創作領域，重新創作光元素的新表現。而燈具則反應此時代性，以蛻變之姿相應時下的科技，契合人類生活的需求範疇，深入應用光的特性、拓展新的設計思考。

設計研究：

燈具的發展史：1879年，愛迪生最先成功發明的是白熾燈。現代的白熾燈是將電流通過一小圈鎢絲，使鎢絲受熱而發亮。白熾燈是照明領域最成功的產品。目前在幾乎所有家用照明應用中占主導地位。然而由於白熾燈只能將約二十分之一的電能轉化為光能，它的效率很低。愛迪生為了設計這種新發明以替代舊有的煤燈以及汽燈，他和他的同事們試用了上千種不同質料的燈絲，在1879年的一次實驗中，終於獲得了成功。他們在一個抽掉了空氣的燈光中放入一段碳化的棉線做燈絲，連續發光13小時後燈絲才被燒斷。現代燈泡使用的是更為耐久的用鎢絲燈。

燈具的控光：燈具所要完成的工作是將光源發出的光線經燈具控光組件後按需求發射到特定的方向去。一般控光方式後有反射式，透射式和反射—透射式。現代燈具的三大構件為電光源、燈罩和管架。燈罩的作用是十分明顯的，它不僅能夠提高光量的利用率、保護光源和視力，而且作為一種裝飾品，創造著現代高度的審美情趣。燈具造型追求藝術性與科學性的有機結合，燈具造型除了功能合理外，還應有美化環境、裝飾建築、創造氣氛的作用。燈具造型設計既要彰現代科學技術成果，還要體現文化特色，要把科學性和藝術性有機地結合起來，而不能片面追求科學性（功能性）或藝術性。特別是當今流行的“建築化”照明，把發光器件（光源）和建築構件（頂棚、梁、柱牆和地面等）及室內設施（寫字臺、傢俱、吊扇等）融為一體，使燈具的內涵不斷深化與擴展，而且形式多種多樣，讓人耳目一新。

照明燈具的設計技術水平正不斷提高。燈具設計軟體，即CAD/CAM逐步推廣並普及化。應用來設計燈具的光學系統。未來燈具的光學設計、熱學設計、安全設計、機械與工藝設計的科學化程度將大大提高。當今的燈具不僅要有最佳的內在品質，而且還要簡潔、明快、美觀大方和安全經濟，以滿足人們生活、生產和文化娛樂的要求，為人們提供一個最佳的視覺光照環境。以往室內照明燈具的藝術化實例甚多，並給人美的享受和留下了深刻的印象；而工廠和道路照明功能性很強的燈具，近年來也悄悄地發生變化，國際上近年來推出的藝術路燈和工作燈，不僅功能合理，而且具有很高藝術觀賞價值。

光的傳播：

光通量相當於光源每秒種發出的可見光量之和，即是發光量。單位：流明（lm）。直接光（directflux）指表面上直接得到來自照明裝置的光通量。間接光（Indirectflux）光源在白色糙面上作一次反射後到達的光，或通過散光板的光。與直射光相反，其特點是不呈現強度陰影。靠反射板或反射光而成。當光線到達一表面，其中一部分被反射，一部分被吸收，還有一部分透射過去。反射面可以像鏡子一樣光滑，或者像塗漆的表面一樣將入射光散射。光被吸收後通常被轉化為熱量。而沒有被反射或吸收的光線則穿透表面。光源與燈具的光學設計應用以上光線傳播的方式來創造想要得到的效果。

燈具光種類：

根據國際照明委員會CIE的建議，按燈具光在上下空間分佈的比例分為五類：直接型、半直接型、漫射型、和間接型。

(1) 直接型燈具 (Directlightingluminary)

此類燈具絕大部分光通量(90-100%)直接投射下方，所以燈具的光通量的利用率最高，但明暗反差現象嚴重。

(2) 半直接型燈具 (Semi-directlightingluminaries)

這類燈具大部分光通量（60-90%）射向下半球空間，少部分射向上方，射向上方的分量將反射下來，從而減少照明環境所產生的陰影的硬度並改善其格表面的亮度比。

(3) 漫射型燈具 (Diffusedlightingluminary)

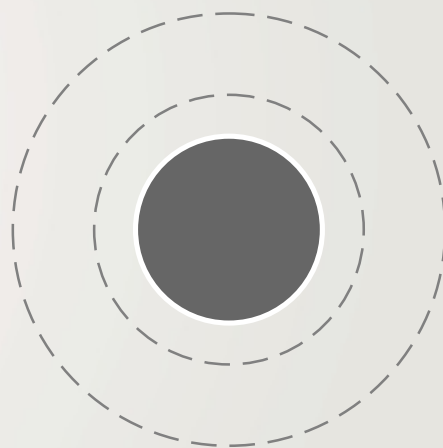
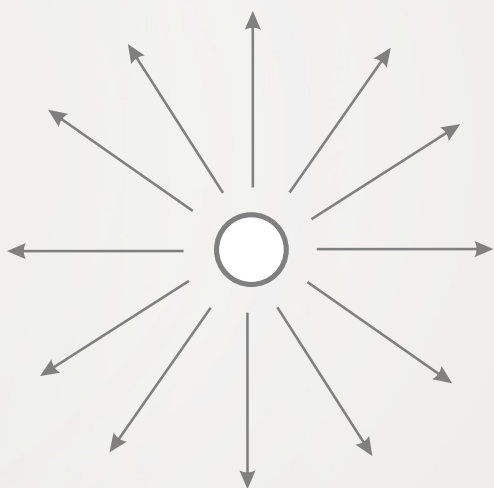
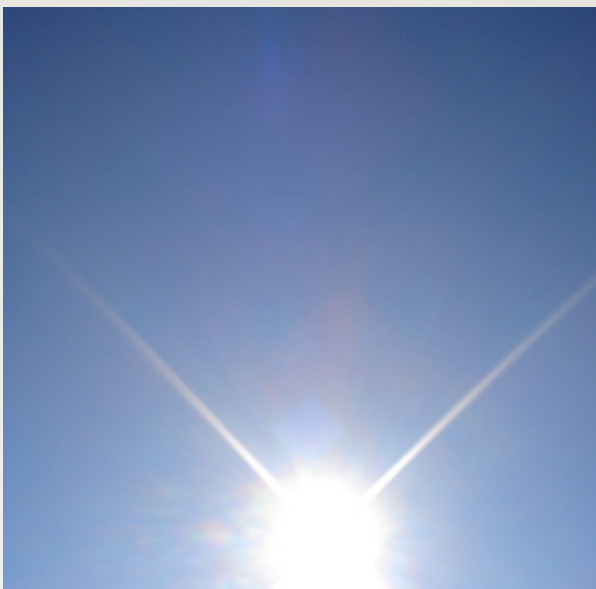
燈具向上和向下的光通量幾乎相同（各占40-60%），最常見的是乳白玻璃球形燈罩，其他各種形狀漫射透光的封閉燈罩也有類似的配光。這種燈具將光線均勻地投向四面八方，能產生很好的照明效果。

(4) 半間接型燈具 (Semi-indirectlightingluminaries)

燈具向下光通量占（10-40%），他的向下分量往往只用來產生與天棚相稱的亮度。他們主要作為建築裝飾照明，由於大部分光線投向頂棚和上部牆面，增加了室內的間接光，光線更為柔和宜人。

(5) 間接燈具 (Indirectlightingluminary)

燈具的小部分光通量占（10%以下）。設計的好時，全部天棚成為一個照明光源，達到柔和無陰影的照明效果，由於燈具向下光通很少，只要佈置合理，直接眩光與反射眩光都很小。此類燈具的光通量利用率比前面四種都低。



Define lighting

Direct glare

&

Soft light

設計問題：

眩光是由於在視野範圍內出現高亮度或強烈的亮度對比形成的，它可降低周圍物體的可見度，也可引起不舒適感。眩光的產生與光源的選擇、燈具的亮度、安裝高度、佈置方式、投射方向以及背景亮度等有關。一般而言，刺眼眩光在30秒至60秒內，即會對眼睛視力的健康產生明顯傷害。會使影像模糊化，容易造成眼睛疲勞，閱讀吃力，甚至進一步造成眼睛酸痛及頭痛的問題。尤其是室內場所，由於高亮度、低空間的特點，對眩光控制的要求更高。

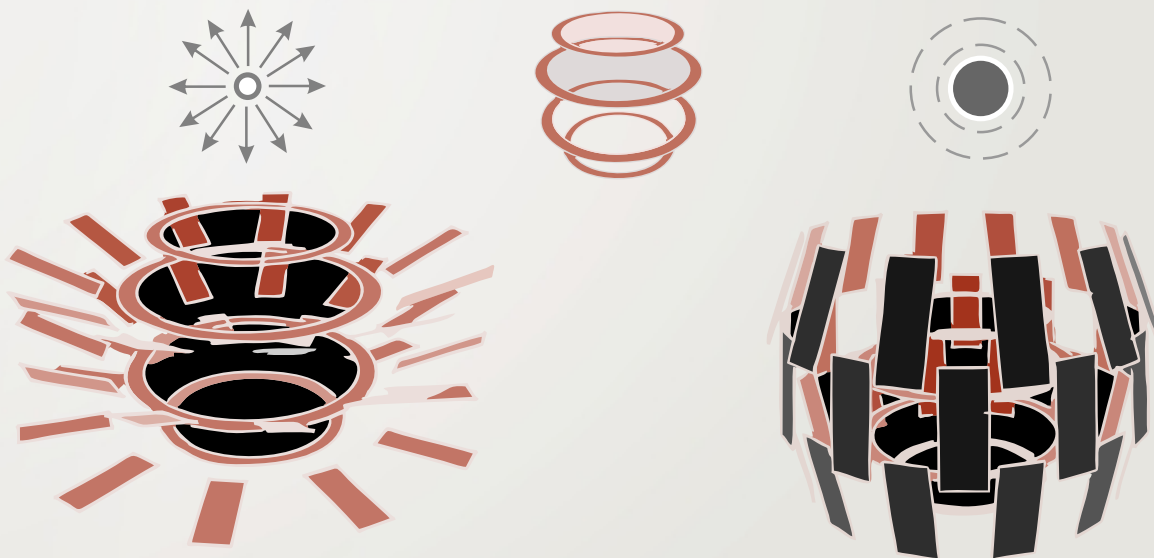
眩光成因：

直接眩光：眼睛直視光源感到的刺眼眩光，像是直視太陽、燈管、夜間對方來車車燈。

反射眩光：光源投射至物體後，反射至眼睛的刺眼光線，像是書本上、白板上的反光，容易傷害視力，也最影響閱讀舒適性。

投射效率：

在建築室內照明中，一般燈具為達到最大的光源利用，多半採取直接照明為最常見的照明方式。缺點是容易產生眩光及配光均勻度，發光面積小，燈具表面亮度高，但容易造成嚴重的眩光問題。

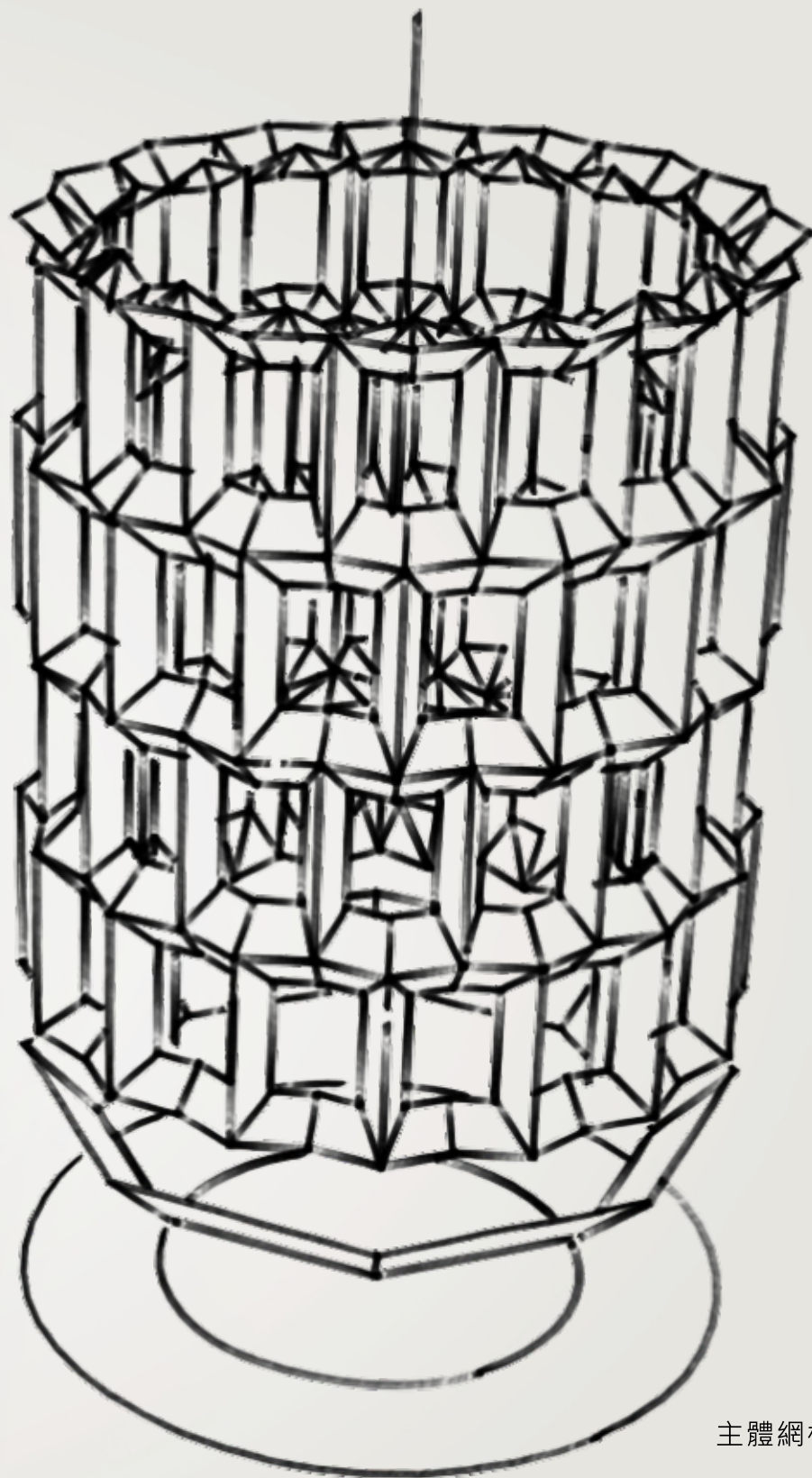


Method

Oar structure

設計目的：

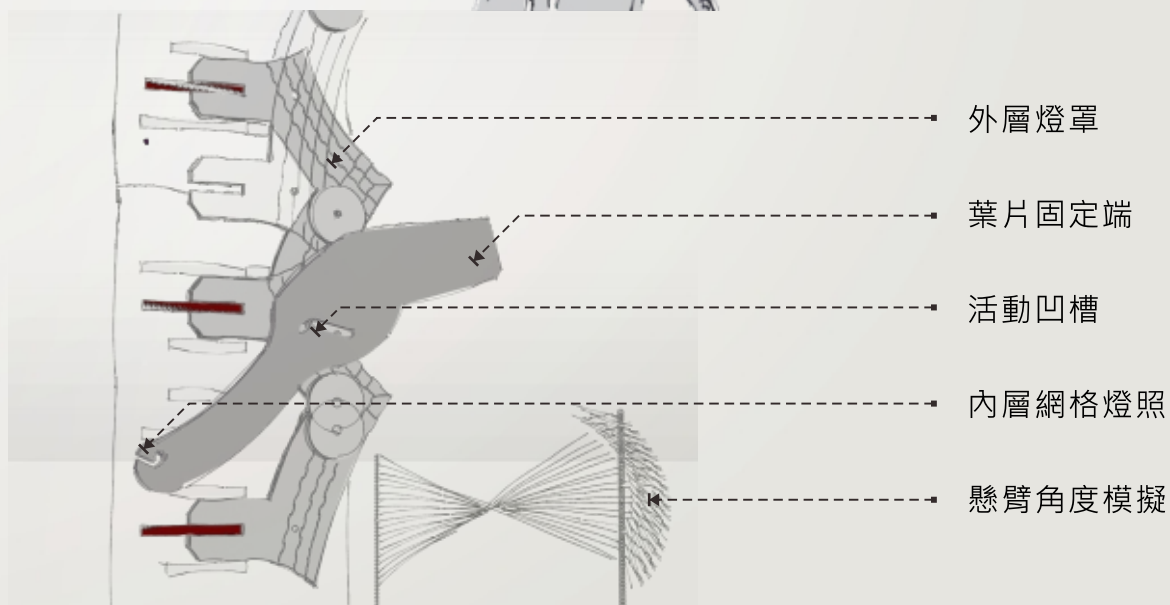
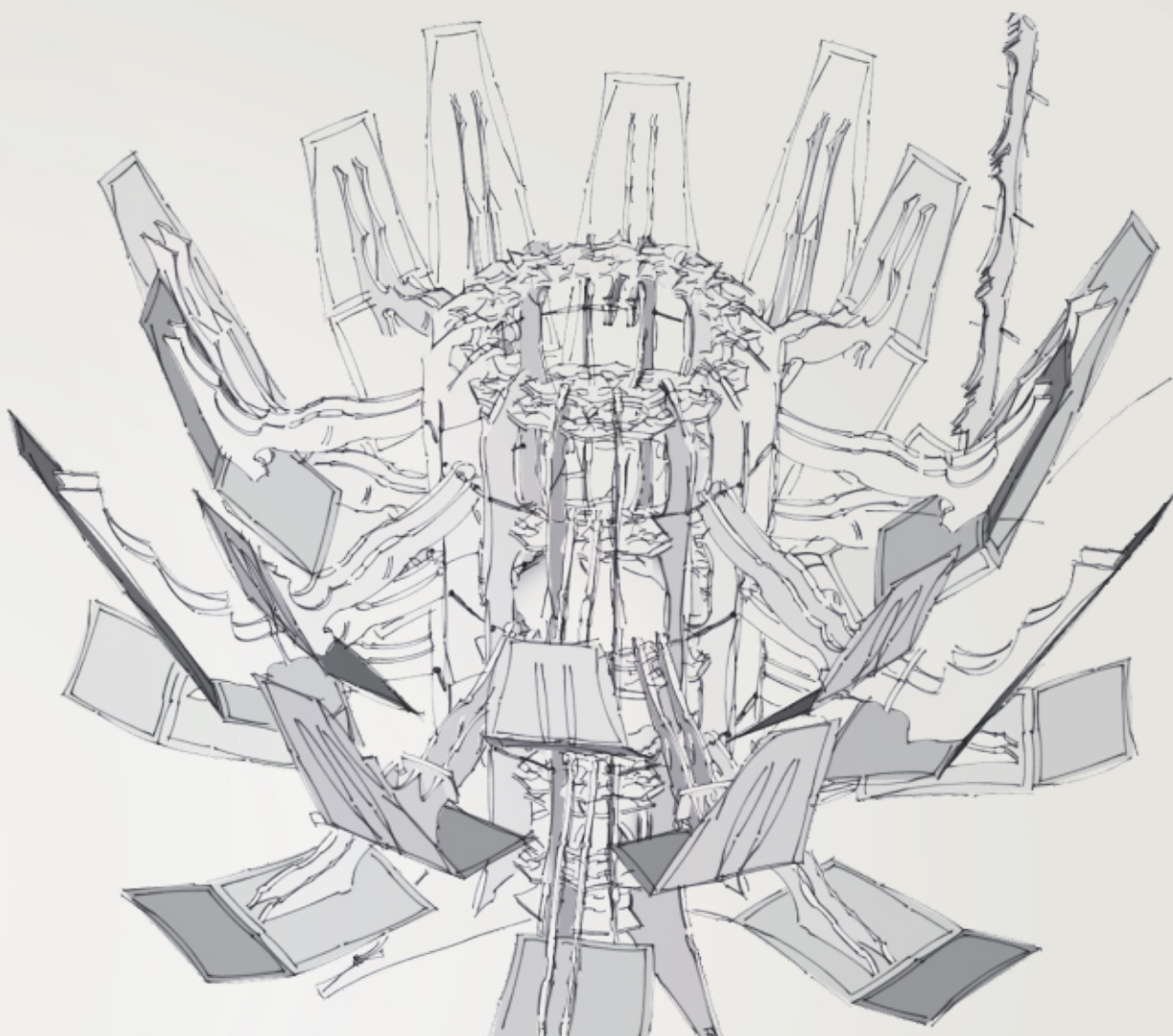
打造未來智慧化之燈具系統構件，嘗試找出折衷的燈具機構型式，讓燈具能發會最大的投射效率，亦可同時兼顧人的視覺舒適。依使用需求智慧化的調節光的投射系統，迎合有效照明與眩光防止。



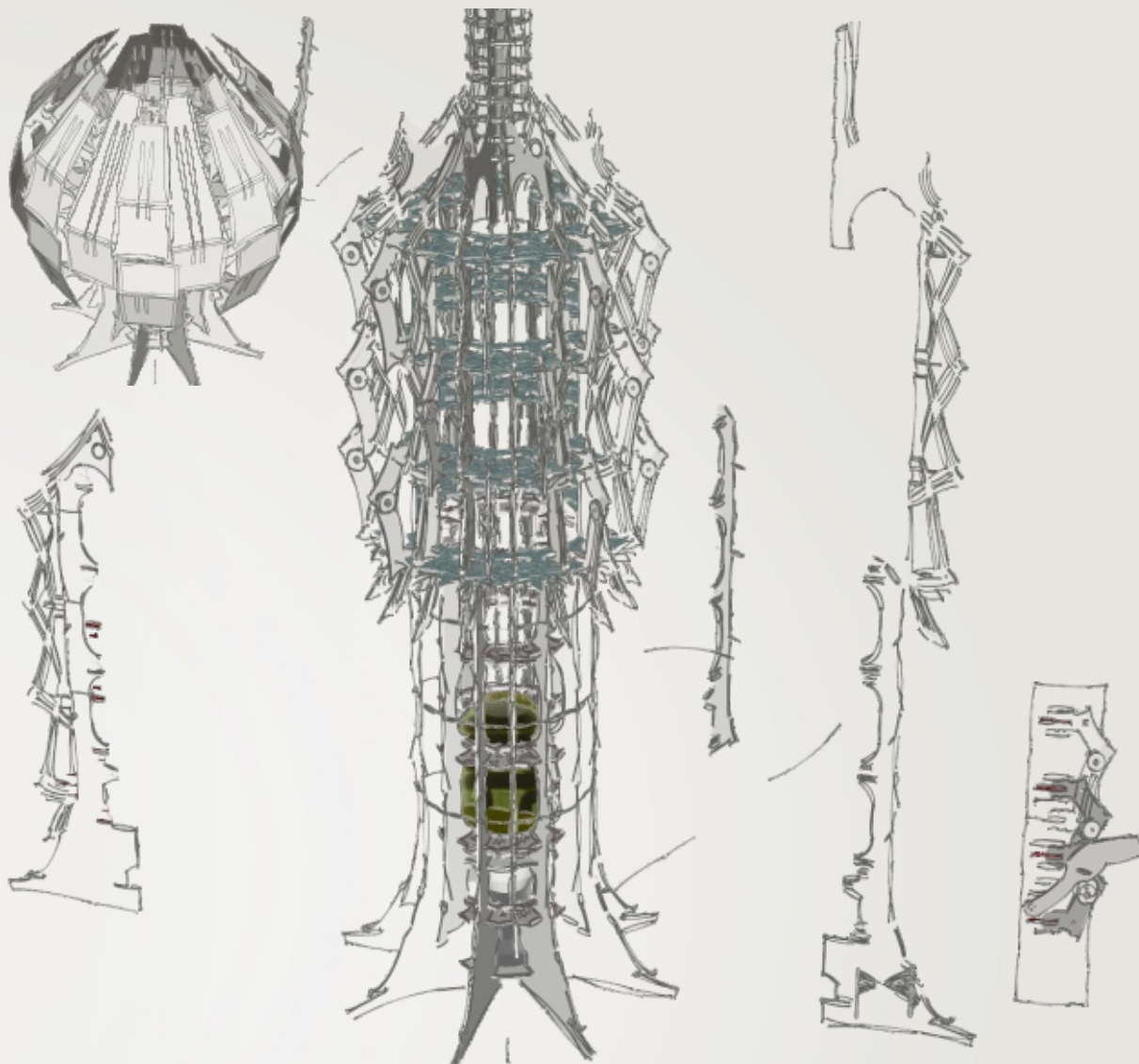
主體網格結構物

設計過程與實作：

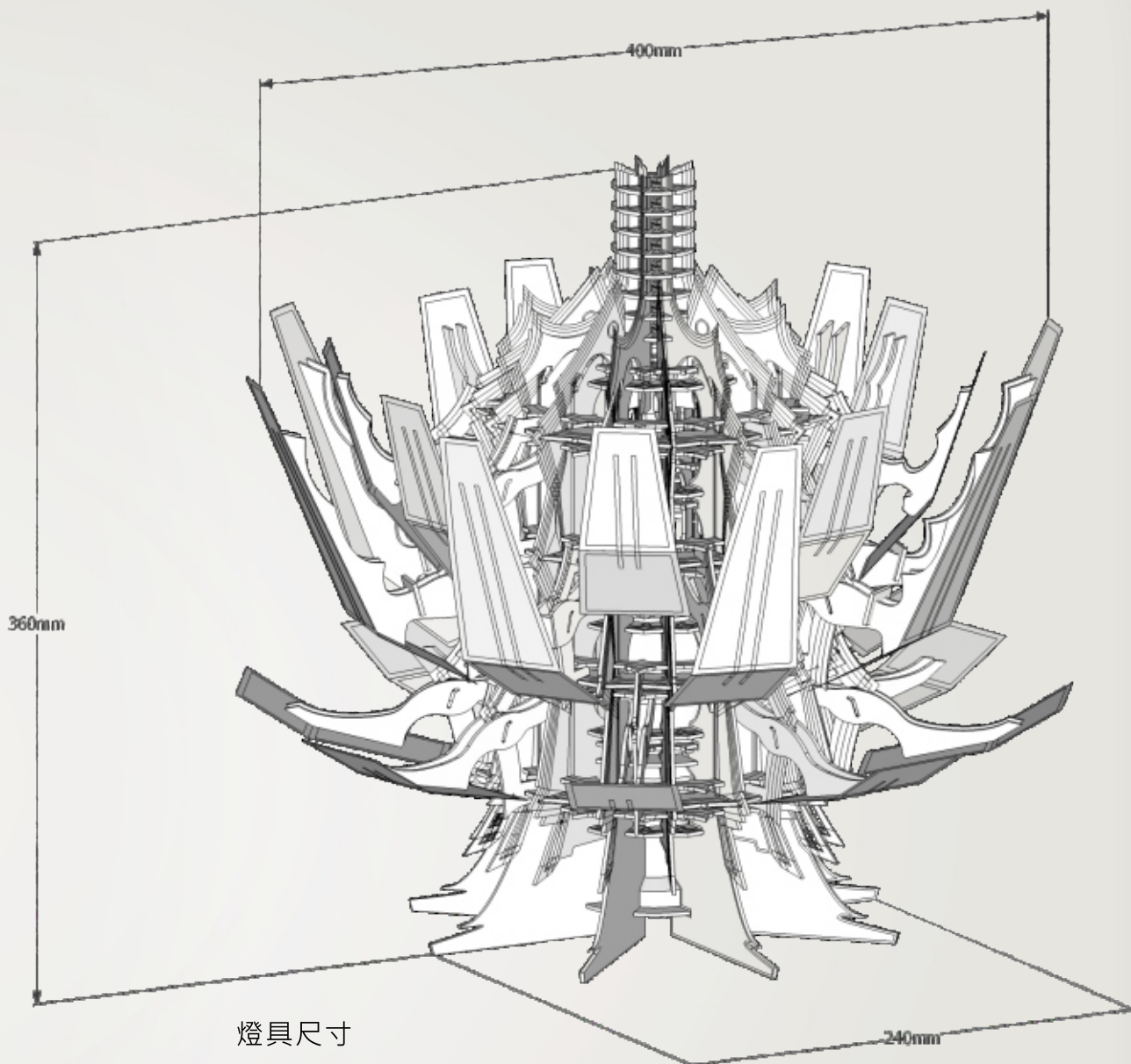
先以燈泡燈源為核心，建立能維束整個燈泡的網格結構物，而這些網格開孔能嵌入可活動的葉片，來調節從中滲出的光線柔和度，使整體燈具有如花苞一般收放自如。



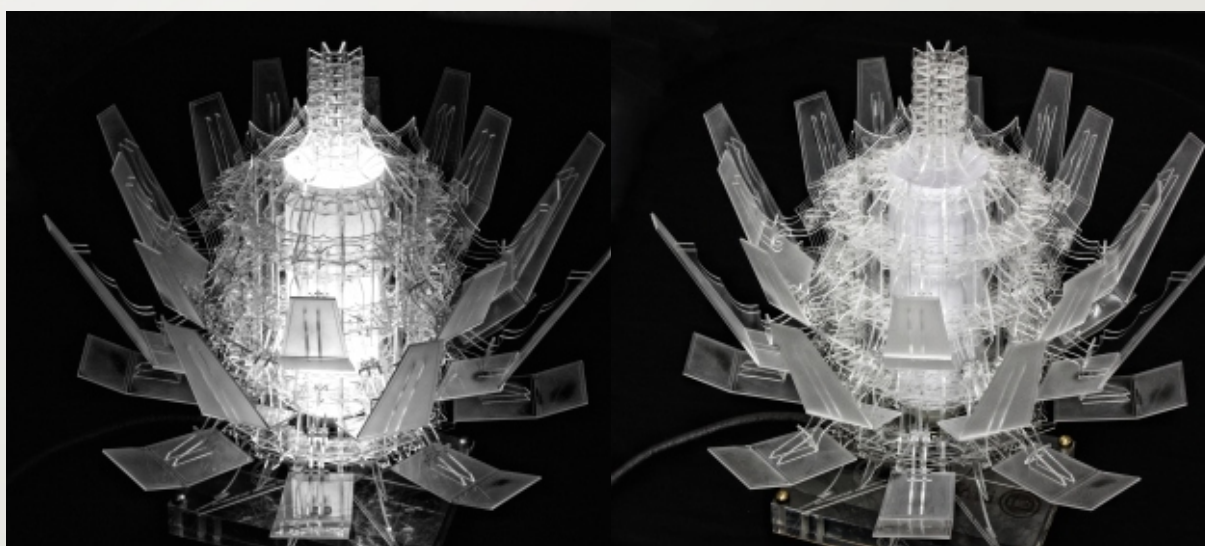
柔光葉片由特製的懸臂支撐，陣列環狀排列成為圓柱體。其中懸臂則扮演了關鍵的連動機制。懸臂內側連接網格結構物，中間挖空出可活動凹槽，外側則與活動葉片固定。操作時以燈罩的上下伸縮來帶動懸臂凹槽連動，以槓桿原理將葉片收起與放下來控制光線的柔和度。



燈體設計階段於電腦3D軟體中完成，材料全以透明壓克力板構成，為了考量日後加工與製作，在3D階段就須考量零件造型、安裝順序與方式。

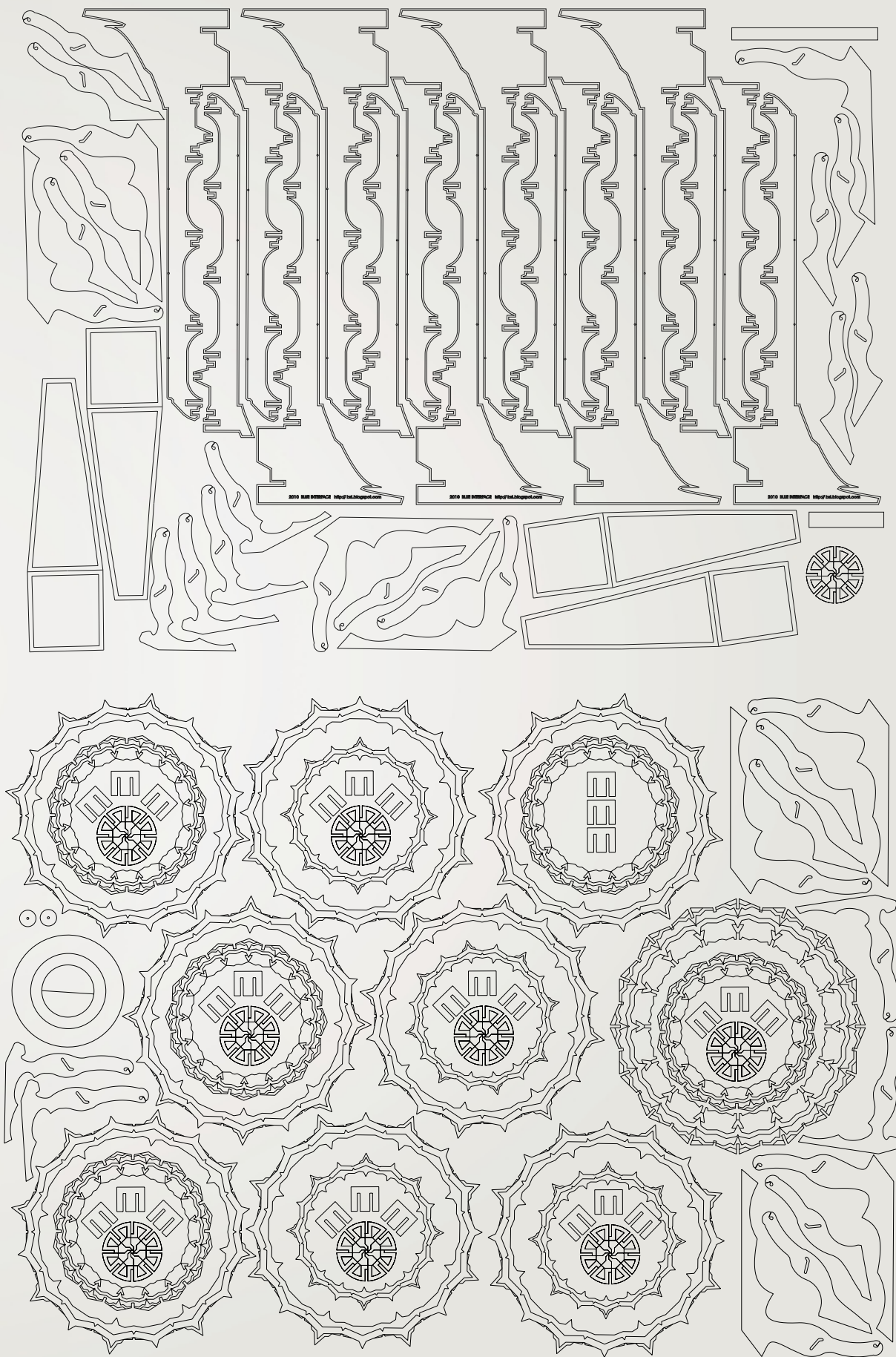


燈具尺寸

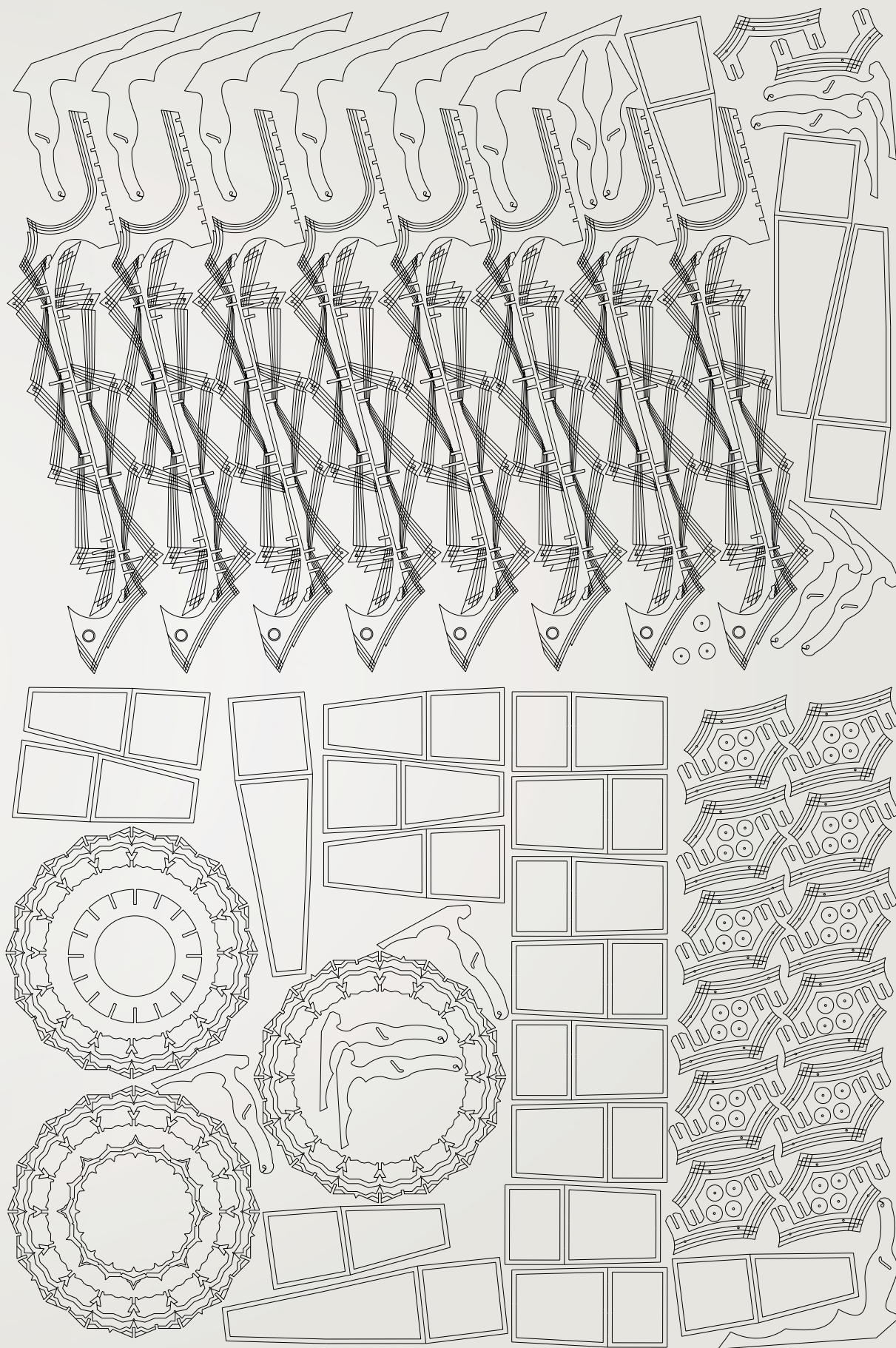


點燈

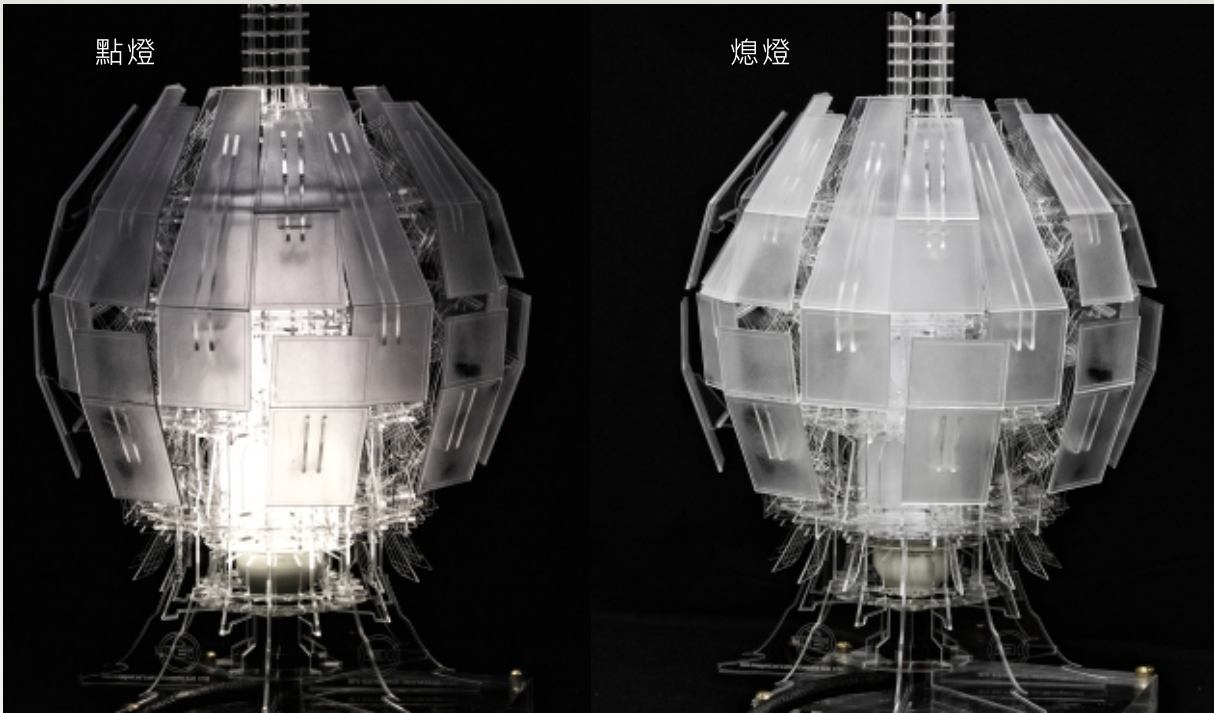
熄燈



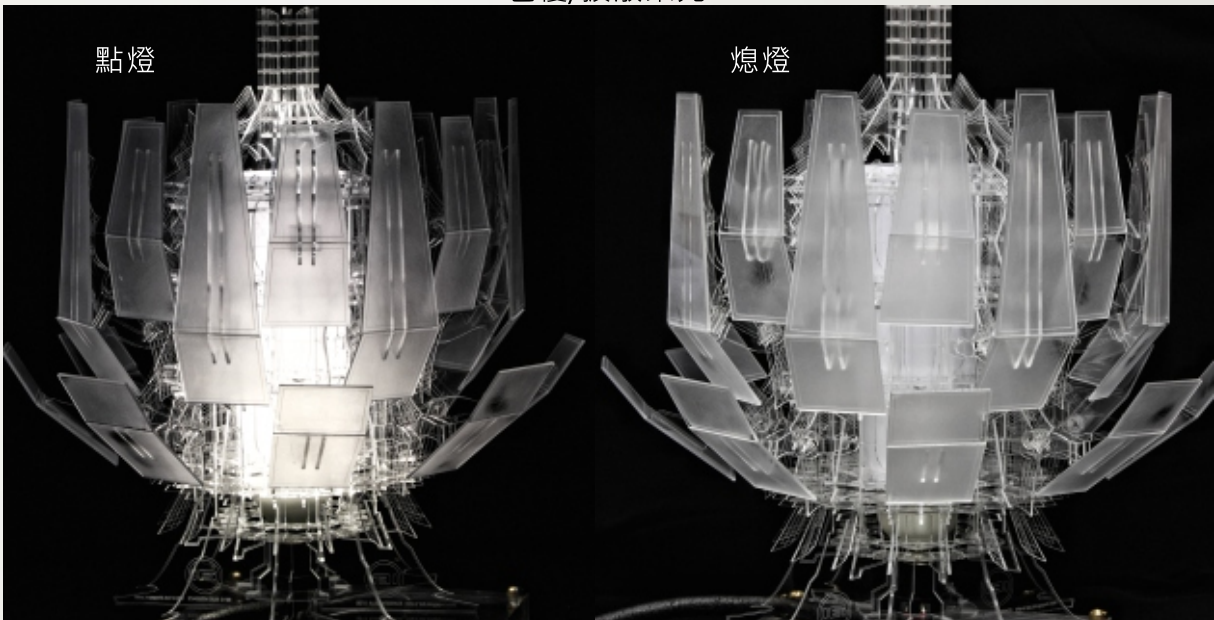
攤平零組件



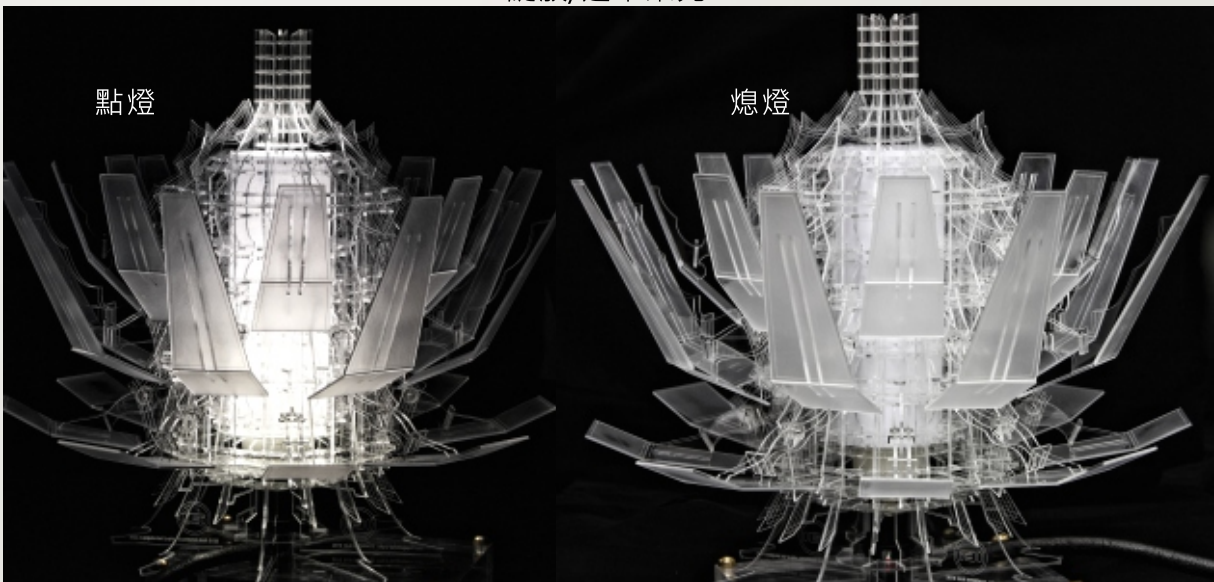
攤平零組件



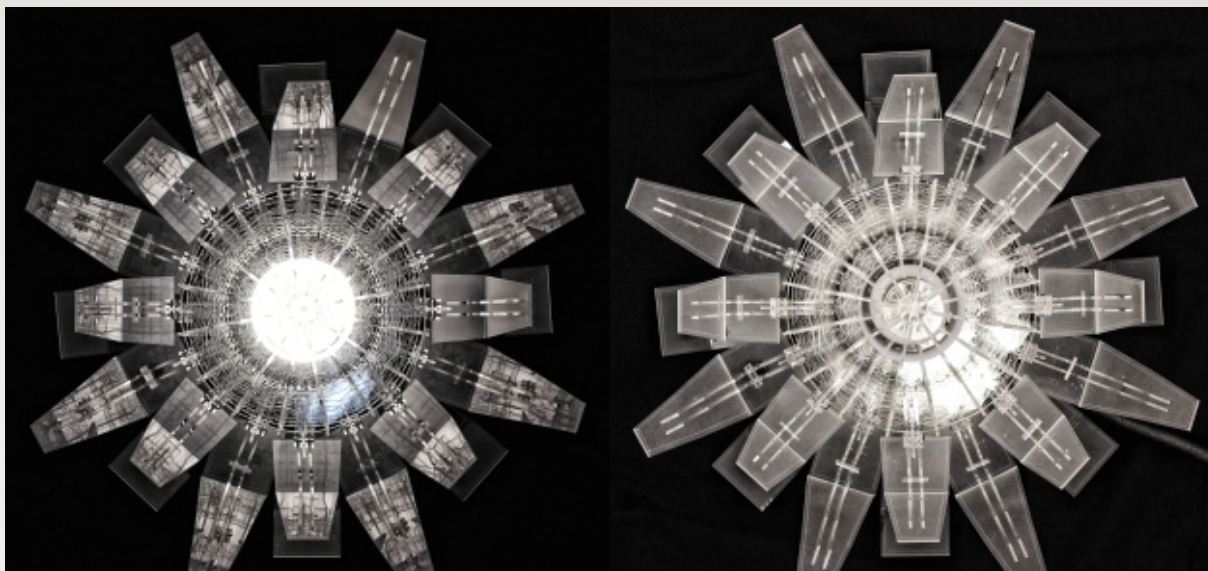
◆ 包覆/擴散柔光



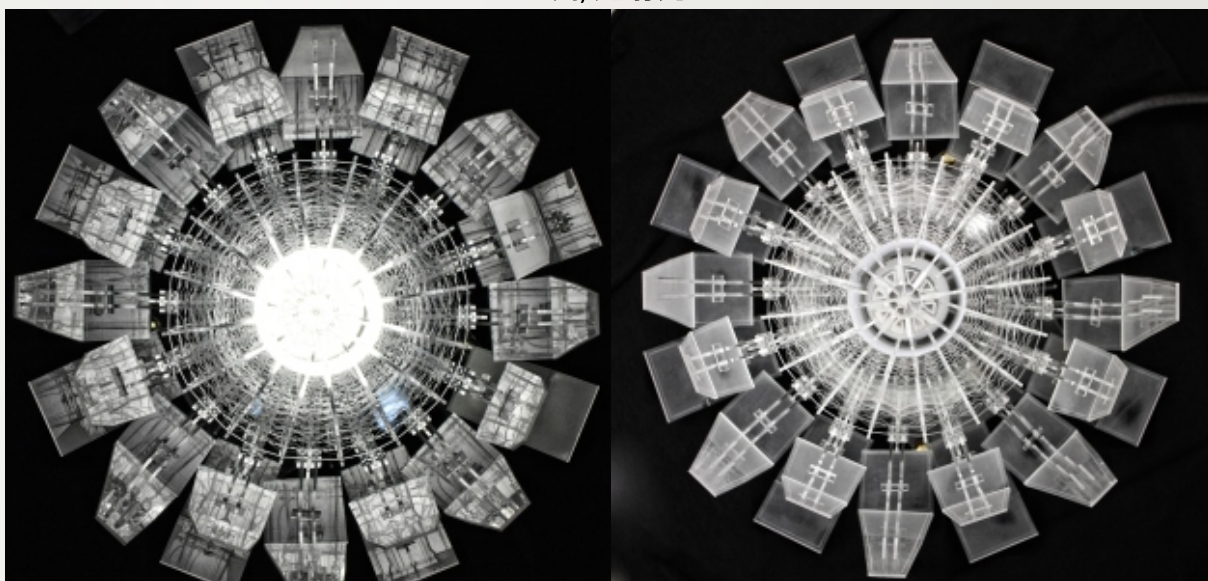
◆ 綻放/適中柔光



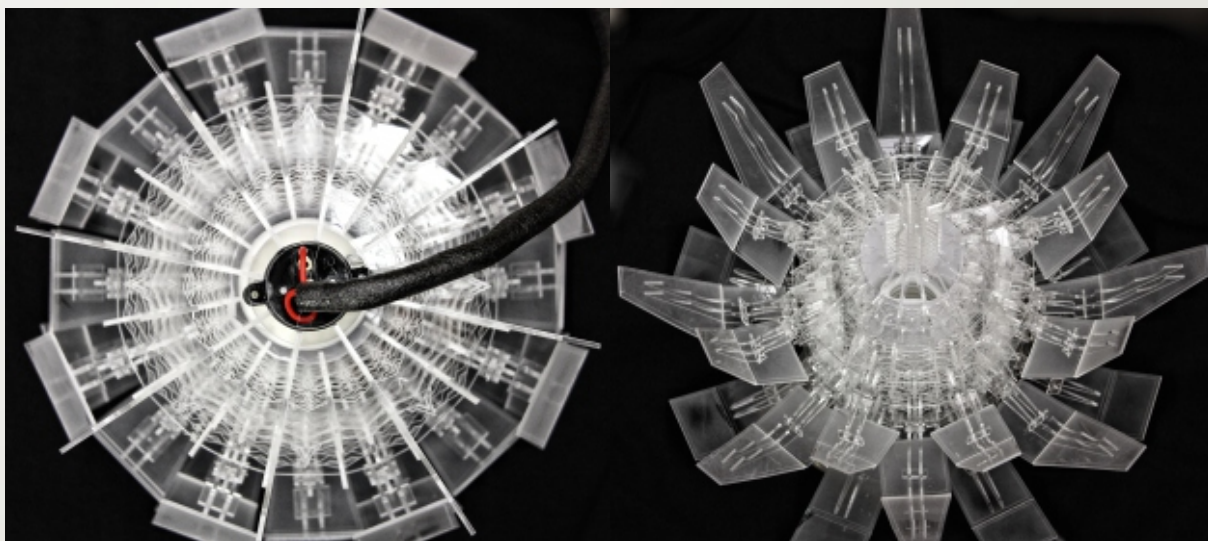
◆ 盛開/透射光



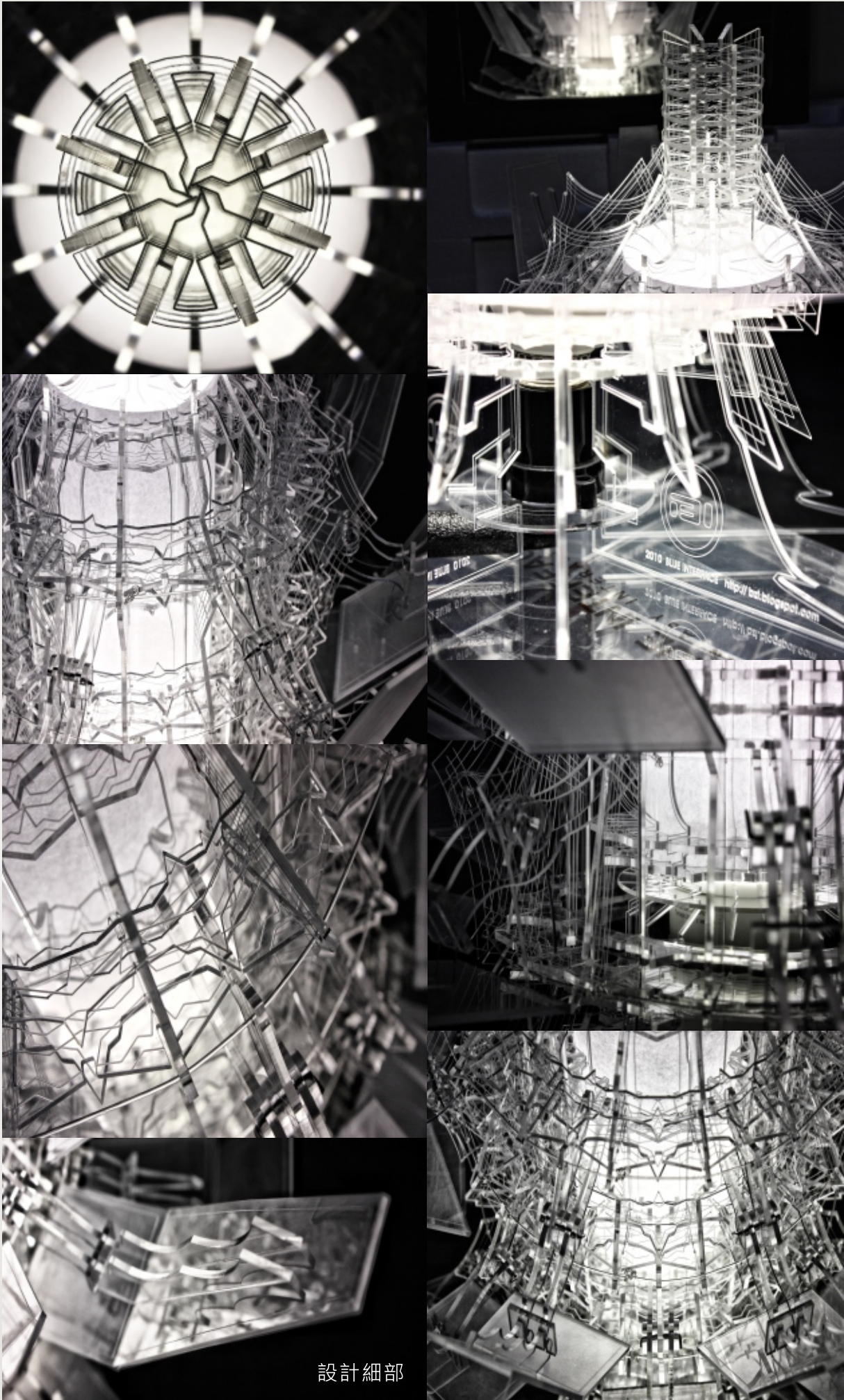
◆ 盛開/透射光



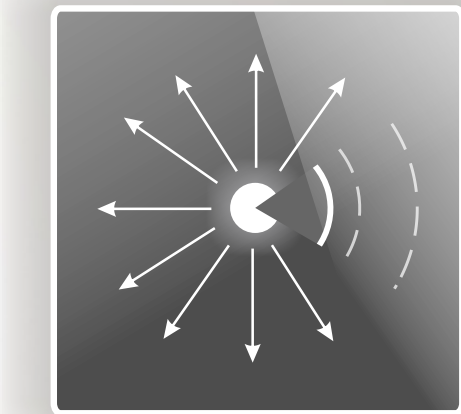
◆ 綻放/適中柔光



包覆燈體的葉片也需在不相互碰撞的前提下，自由的舒張。面對較為複雜的連動機構，在3D軟體的輔助下，大幅提升了設計的效率與精準度。



設計細部



02. Emerging Lamp

Smart lighting / Diffuse illumination regulation

Individual work

Sep 27, 2011

Advisor: June-Hao Hou

Exhibited in NCTU Arts Center, Mar 01 - Mar 20, 2012

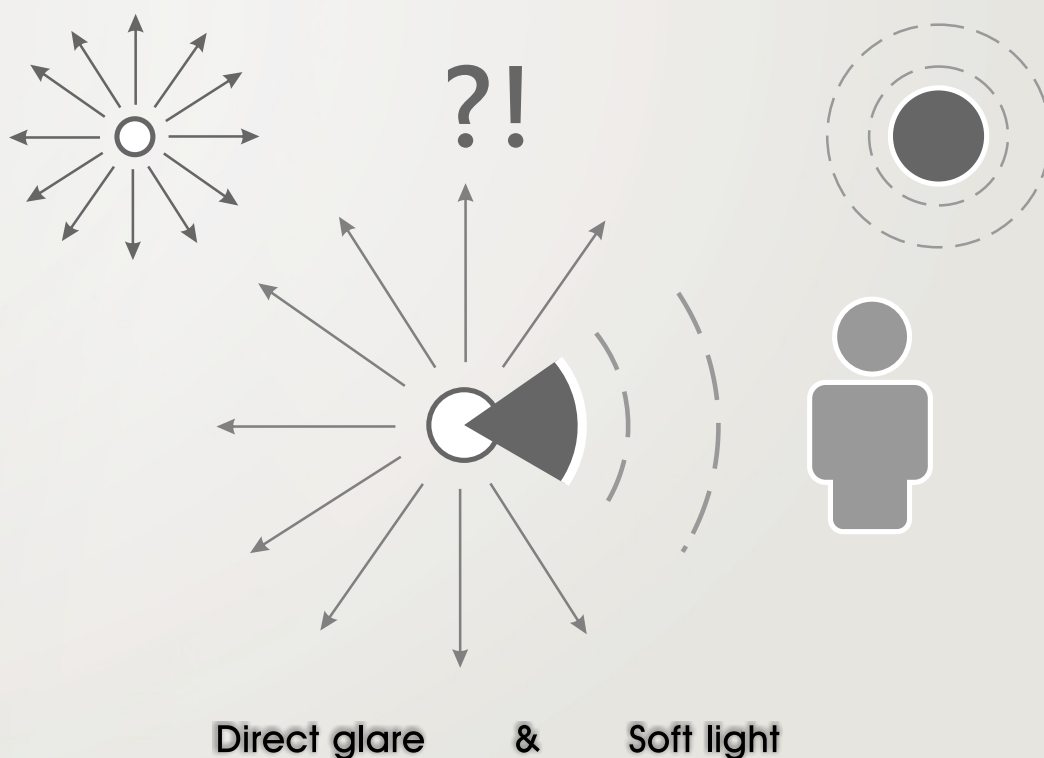


Emerging Lamp / 自主式柔光照明系統

設計構想：

延續智慧可動燈具的點子，本作品嘗試挑戰由機械電路驅動之自動化柔光照明檯燈。免人為操作下，燈具能自動發揮最大的投射效益，亦可同時兼顧人的視覺感受。

設計研究、問題與目的均延續[作品01]



設計過程與實作：

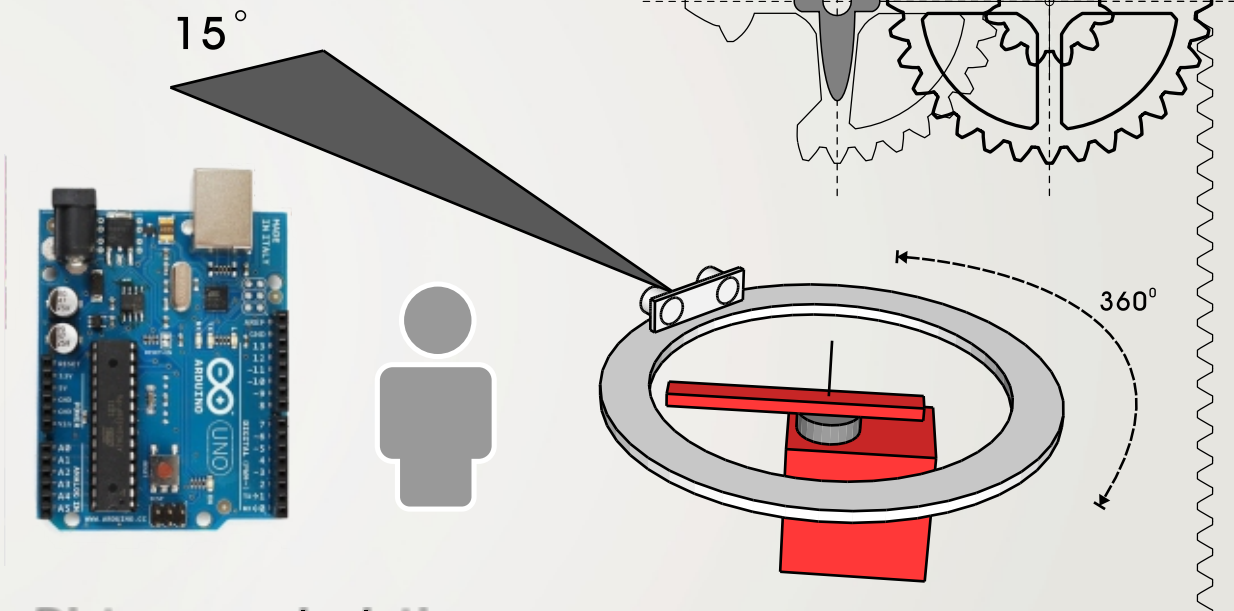
透過超生波距離感測器，偵測人體所在方位，依人的使用需求智慧化的局部調節光的投射，適度的迎合所需照明，防止眩光產生。達成可自行改變光照之電動燈具型式，自動偵測人體方位與遠近，對應燈罩的出光口角度變化，使光源不直接進入人眼。

Ultrasonic Sensors

`pulseIn()`

Reads a pulse (either HIGH or LOW) on a pin. For example, if value is HIGH, `pulseIn()` waits for the pin to go HIGH, starts timing, then waits for the pin to go LOW and stops timing. Returns the length of the pulse in microseconds. Gives up and returns 0 if no pulse starts within a specified time out.

The timing of this function has been determined empirically and will probably show errors in longer pulses. Works on pulses from 10 microseconds to 3 minutes in length.

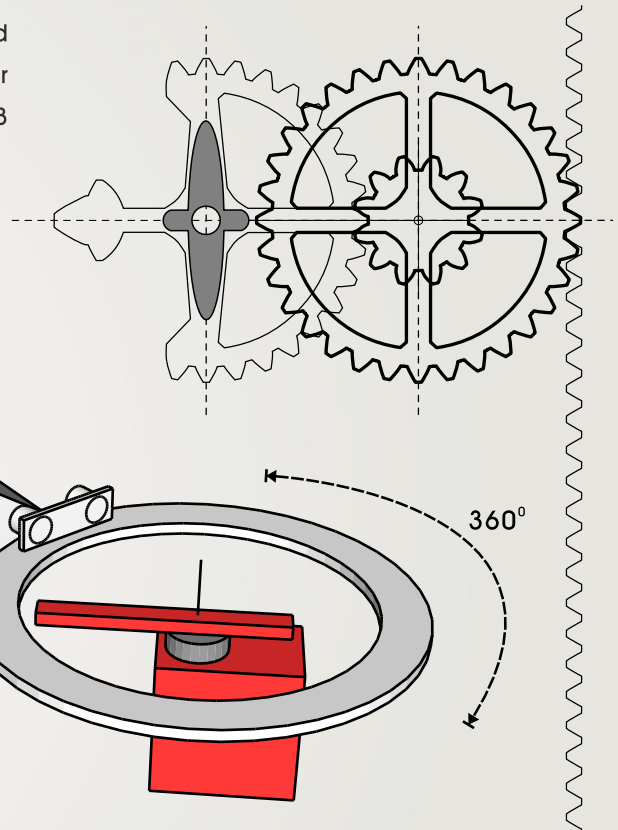
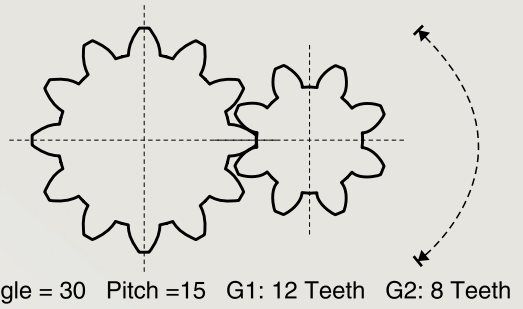


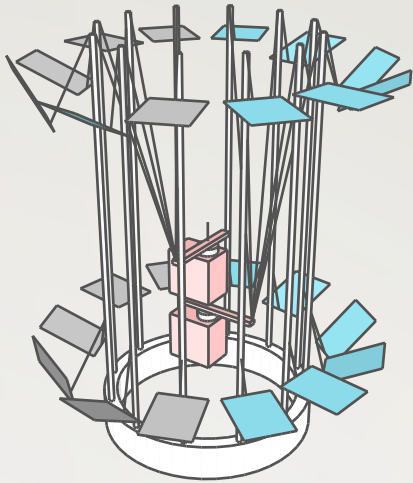
Distance calculation

人體感測是使用Arduino控制板連接超聲波測距器，發出高頻信號到TRIG，等待ECHO輸出高頻信號，而信號的持續時間就是超聲波發射到返回的時間，測量的距離等於(時間 * 音速 / 2)，即可得出人體與燈具之間的距離。再進一步將超聲波測距器固定在一可自轉360度的伺服馬達上，馬達的指向方位加上測距資料，使燈具有如雷達般的空間偵測能力，可即時對旁人做適度的調光反應，當人距離燈具愈近，光線愈柔和。

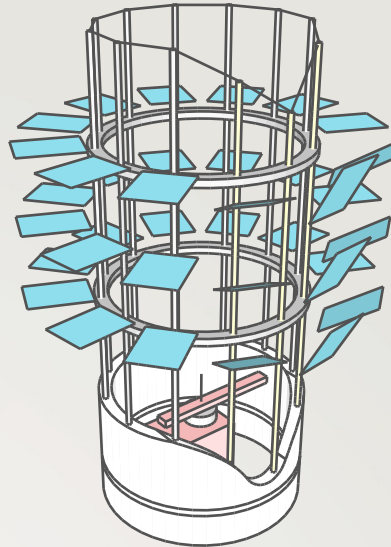
另外電動燈罩懸臂的方面，同樣是透過垂直傳動來改變燈罩葉片的開合角度來調節光線。動力來源是通過伺服馬達搭配加速齒輪組來達成。加速齒輪組小齒對大齒比例是2：3，來放大懸臂的垂直移動量。

Mechanics

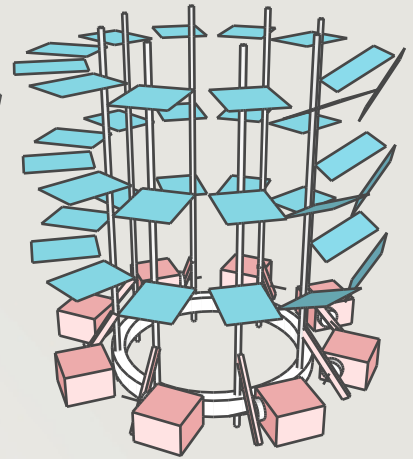




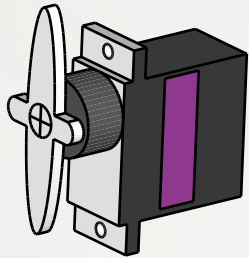
2 servo motors



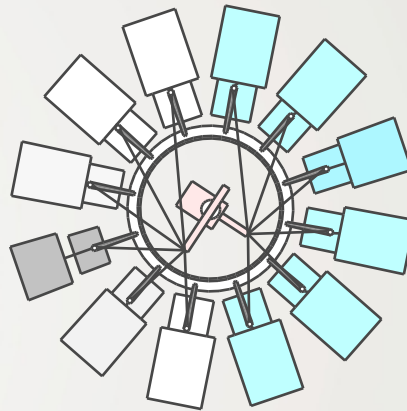
1 servo motors



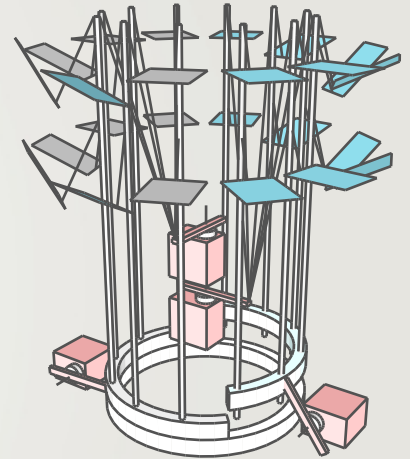
8 servo motors



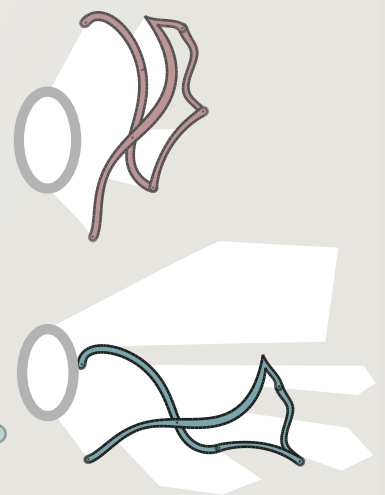
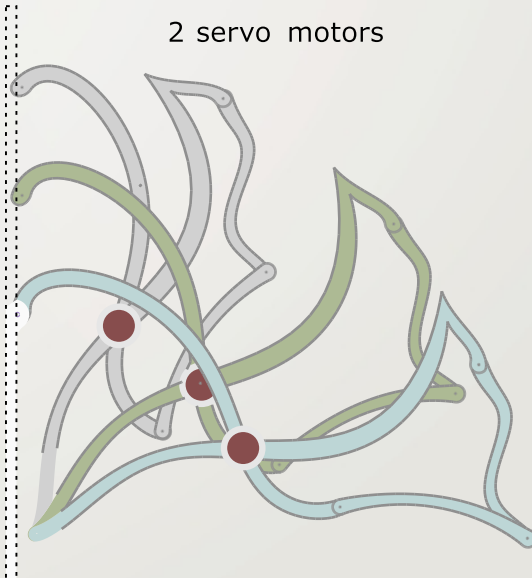
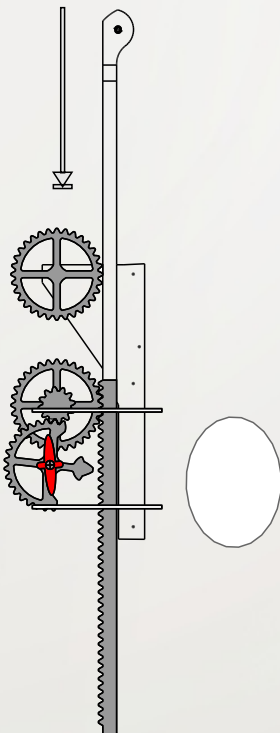
servo motors



2 servo motors



4 servo motors

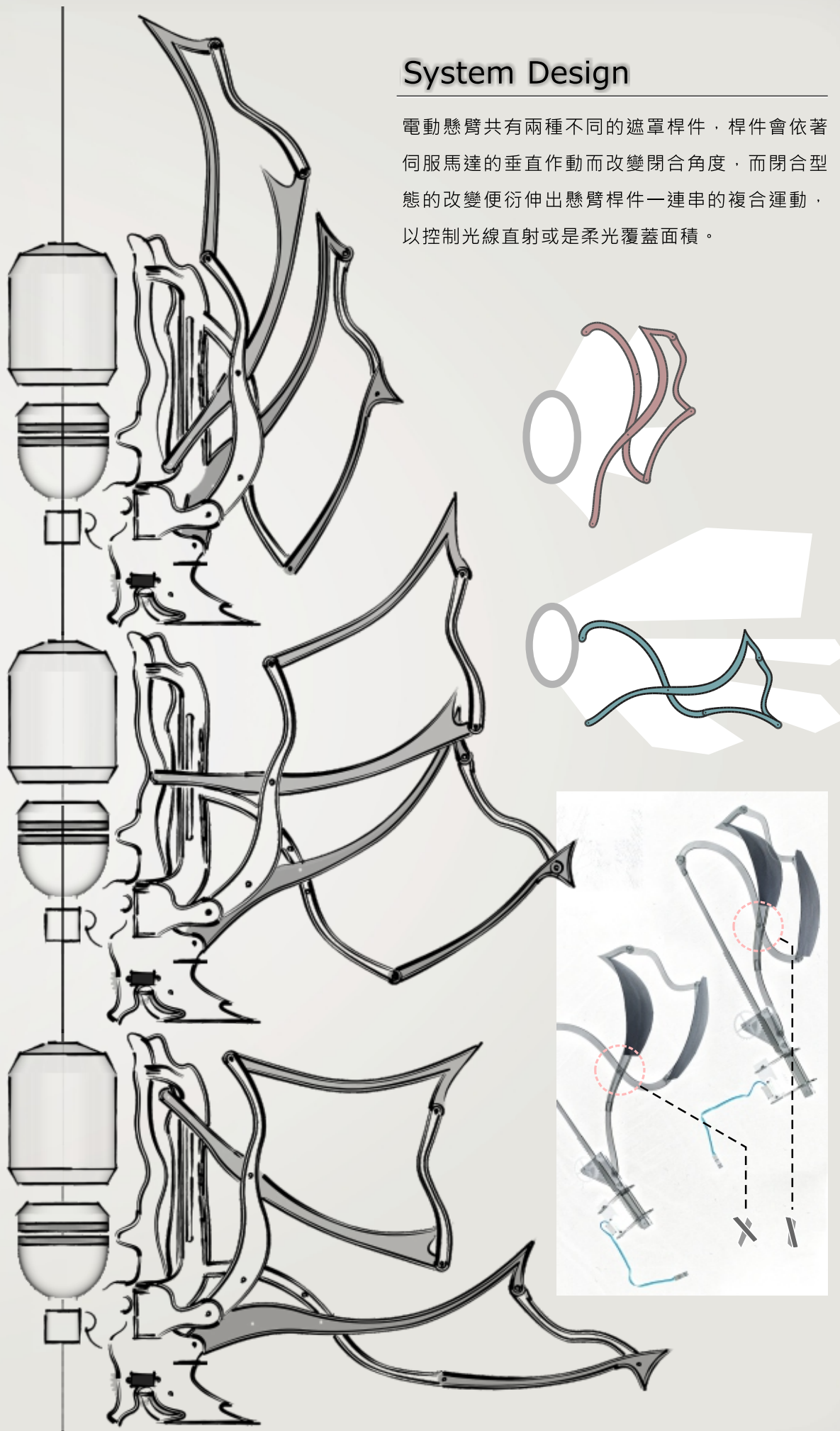


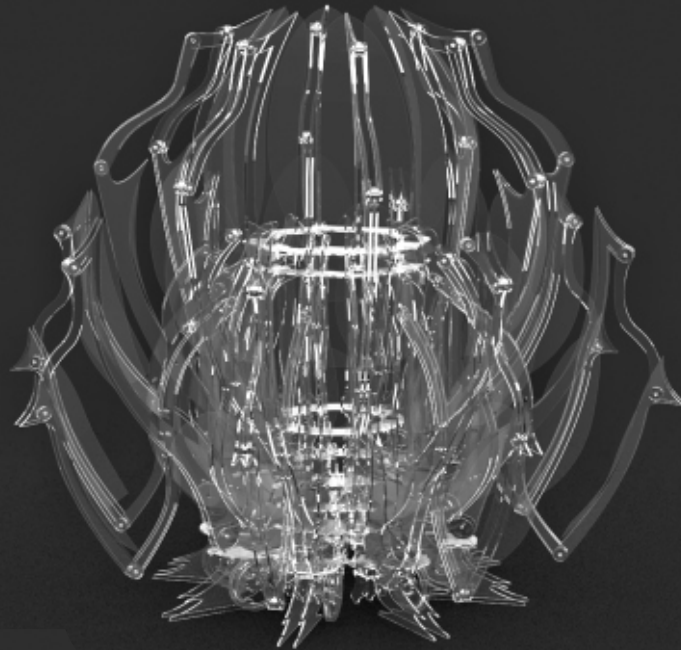
System Design

環繞在燈具旁的獨立懸臂可依不同的訴求，使用一至八具伺服馬達來驅動，為了使懸臂能各自獨立運作，最終選用了八顆驅動的模式，讓每支懸臂有專屬的伺服馬達垂直連動。

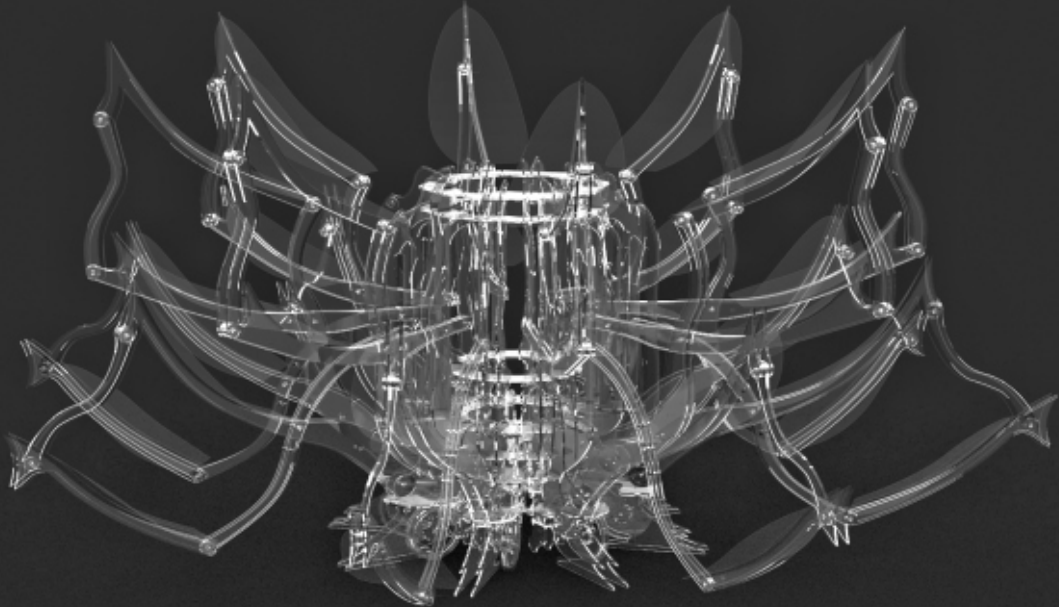
System Design

電動懸臂共有兩種不同的遮罩桿件，桿件會依著伺服馬達的垂直作動而改變閉合角度，而閉合型態的改變便衍伸出懸臂桿件一連串的複合運動，以控制光線直射或是柔光覆蓋面積。

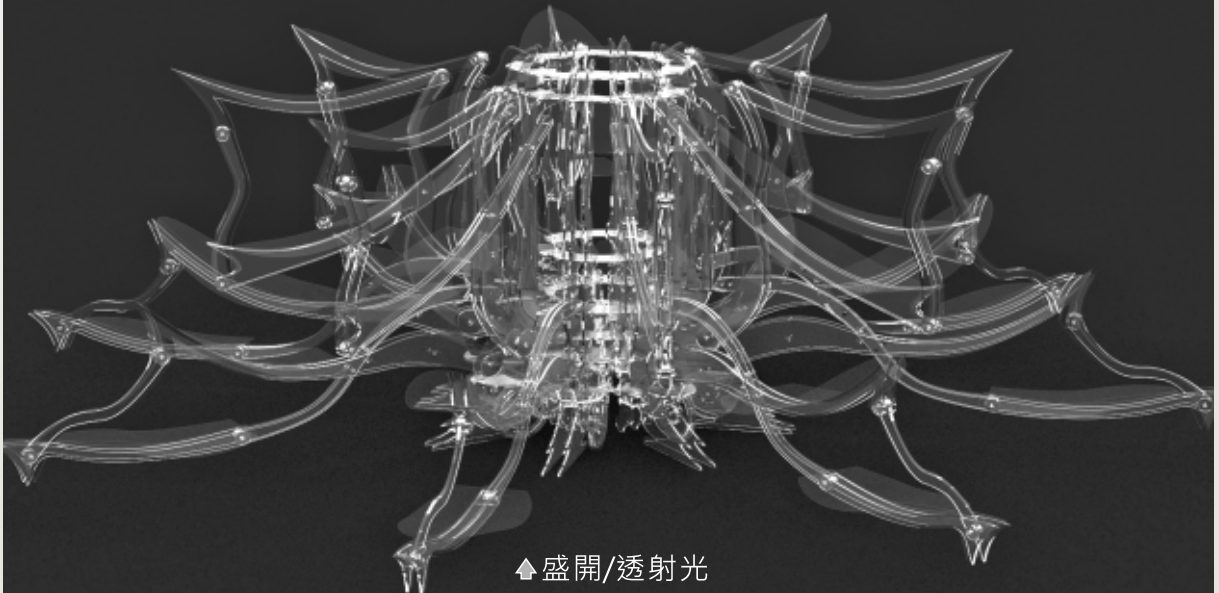




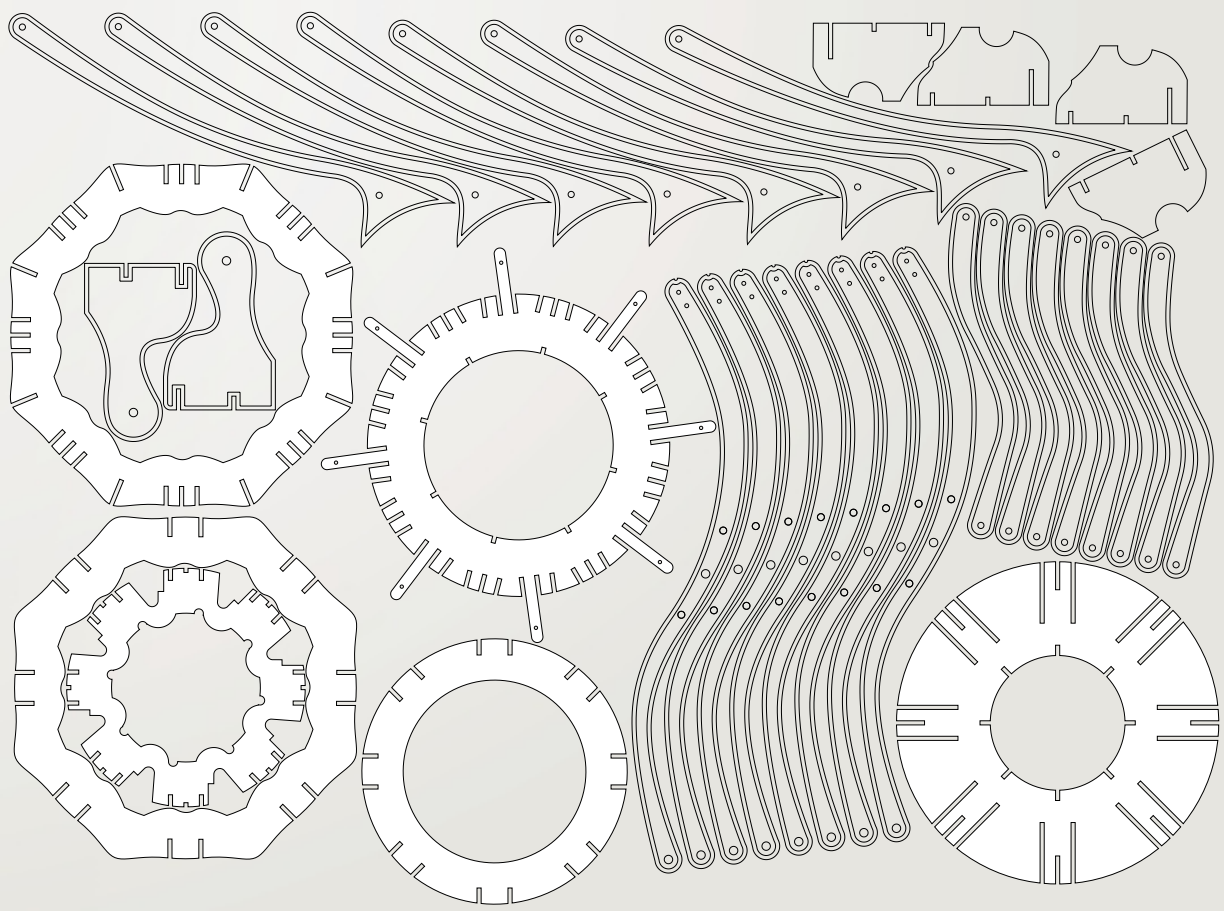
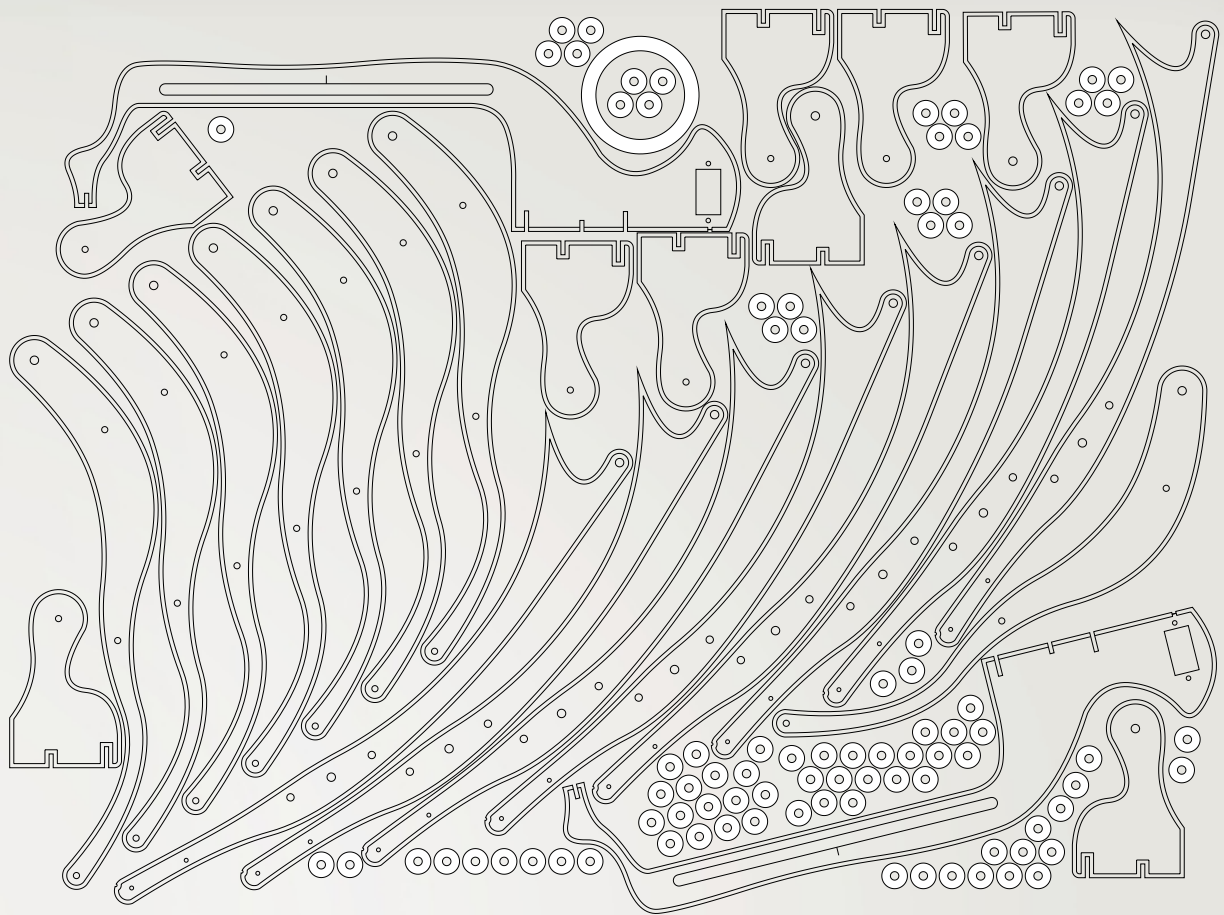
▲ 包覆/擴散柔光



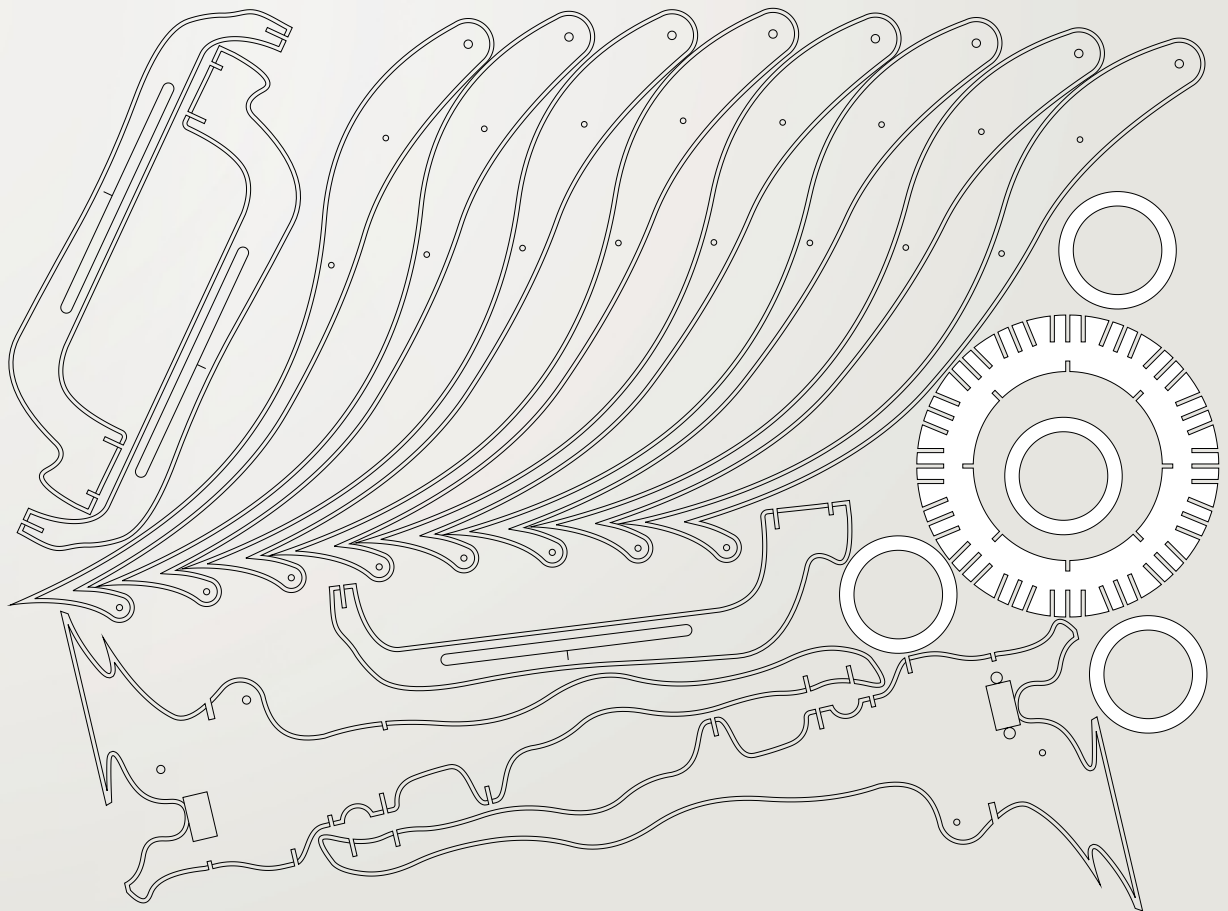
▲ 綻放/適中柔光



▲ 盛開/透射光



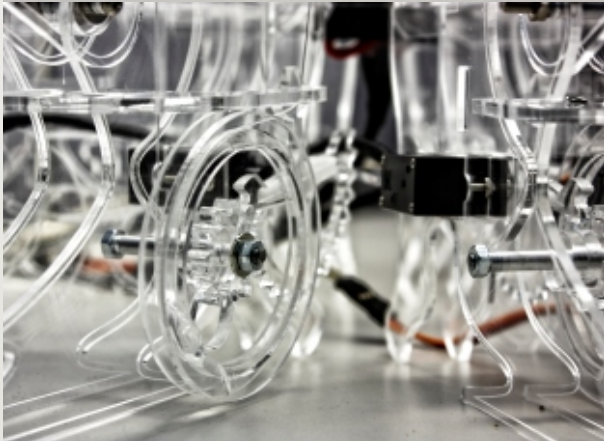
攤平零組件

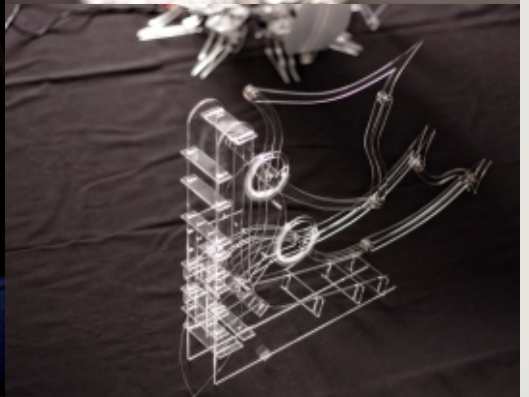
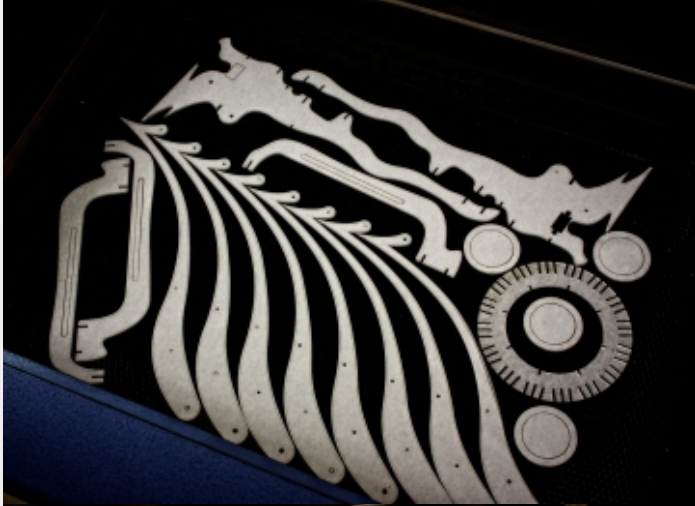


攤平零組件

實作過程與細節：









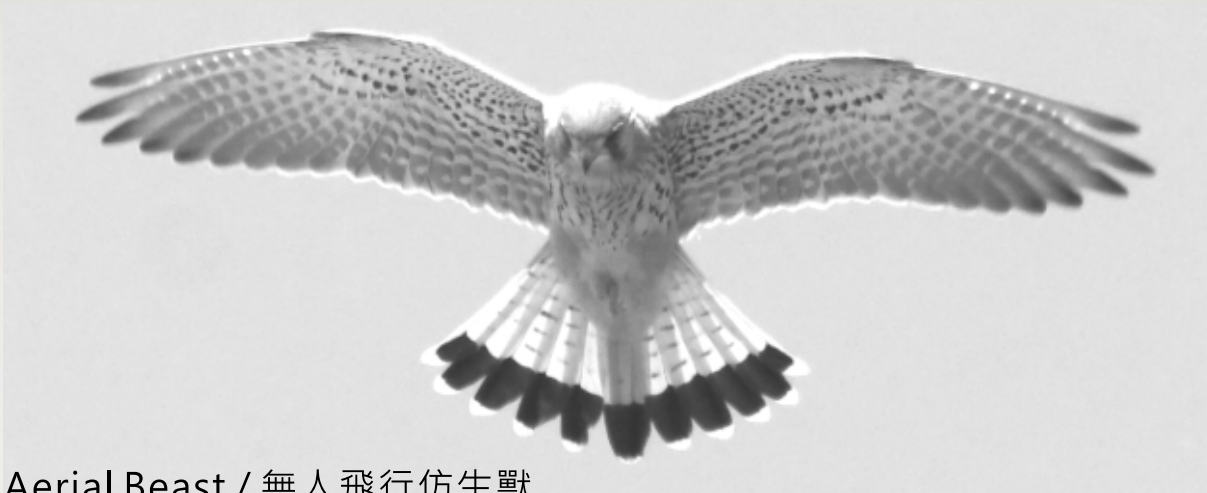
03.Aerial Beast

Unmanned Aerial Vehicle

Individual work

Jul 22, 2012

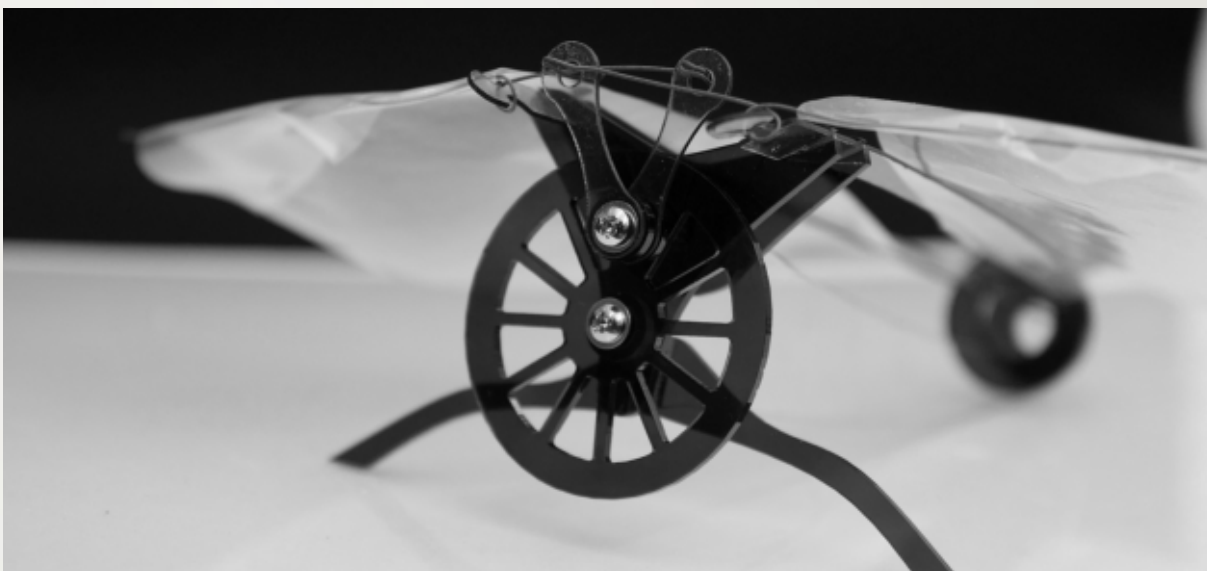
Advisor: June-Hao Hou



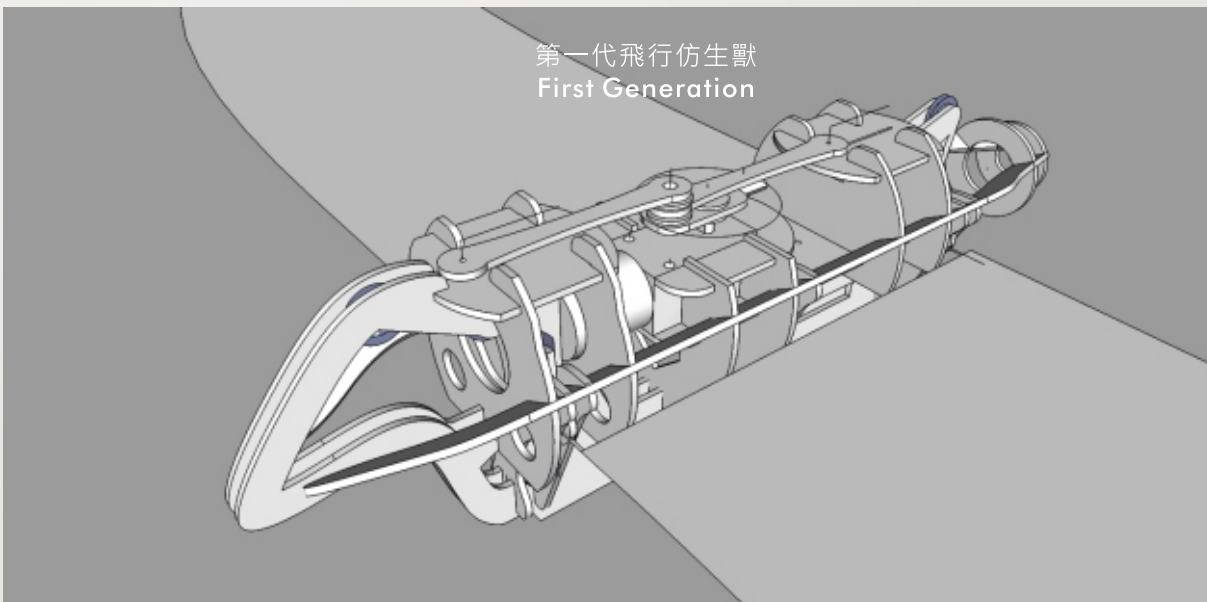
Aerial Beast / 無人飛行仿生獸

設計構想與第一代原型：

近年來數位設計製造應用於飛行系統，滿足了對於高度精準要求的航太產業。本次設計練習以數位設計製造的手挽，觀察、研究自然界飛行生物的結構、器官、能量供給、行為特色並了解其運作機制，進而打造透過以翅膀拍打之翼蹠運動機構，製作猶如自然界生物體般的飛行仿生獸。



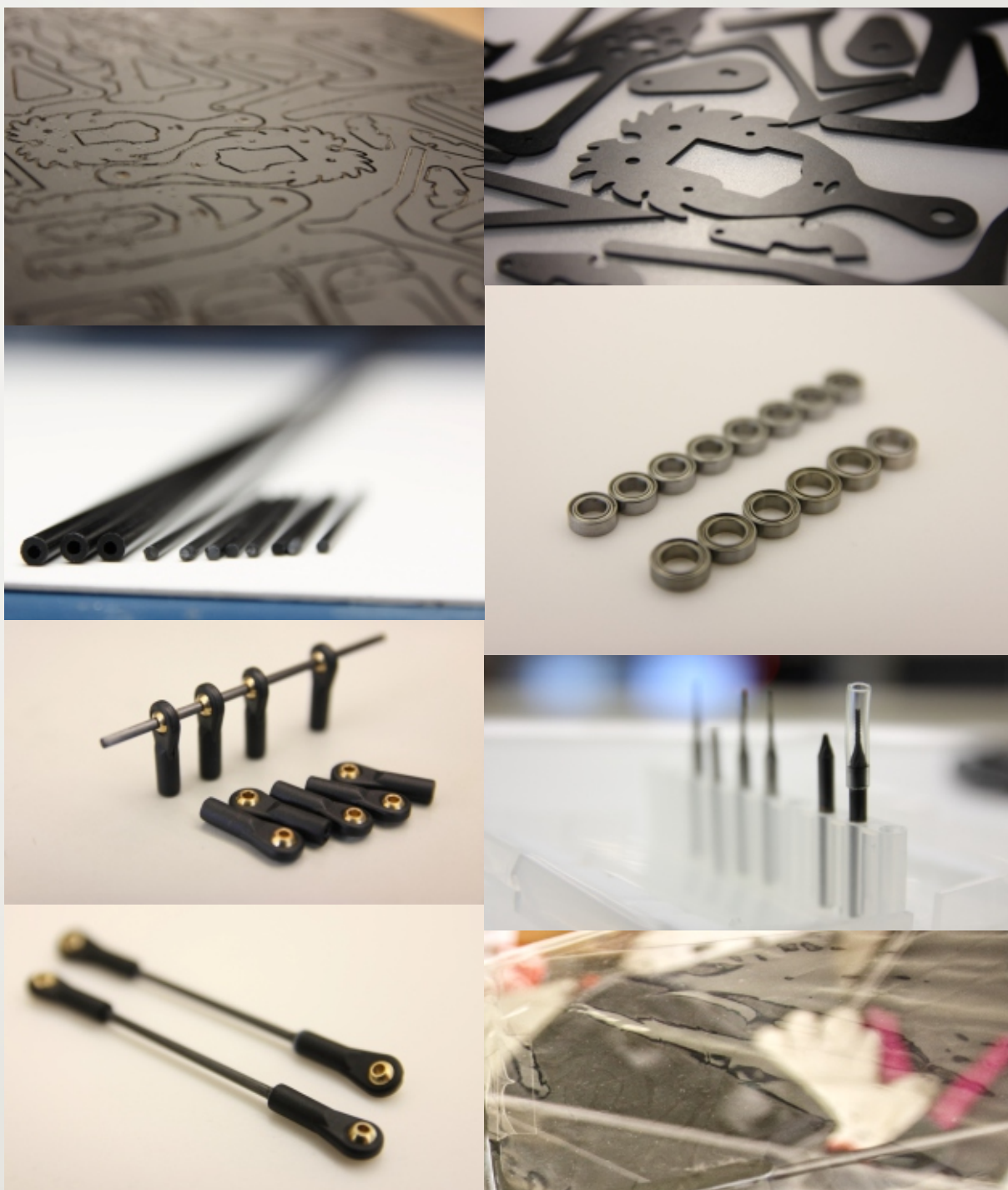
經過材料測試後得知，因重量因素本次設計不能再使用壓克力作為機構材，第一代的飛行仿生獸尚未設計完成便重新改版。



第二、三代原型設計研究：

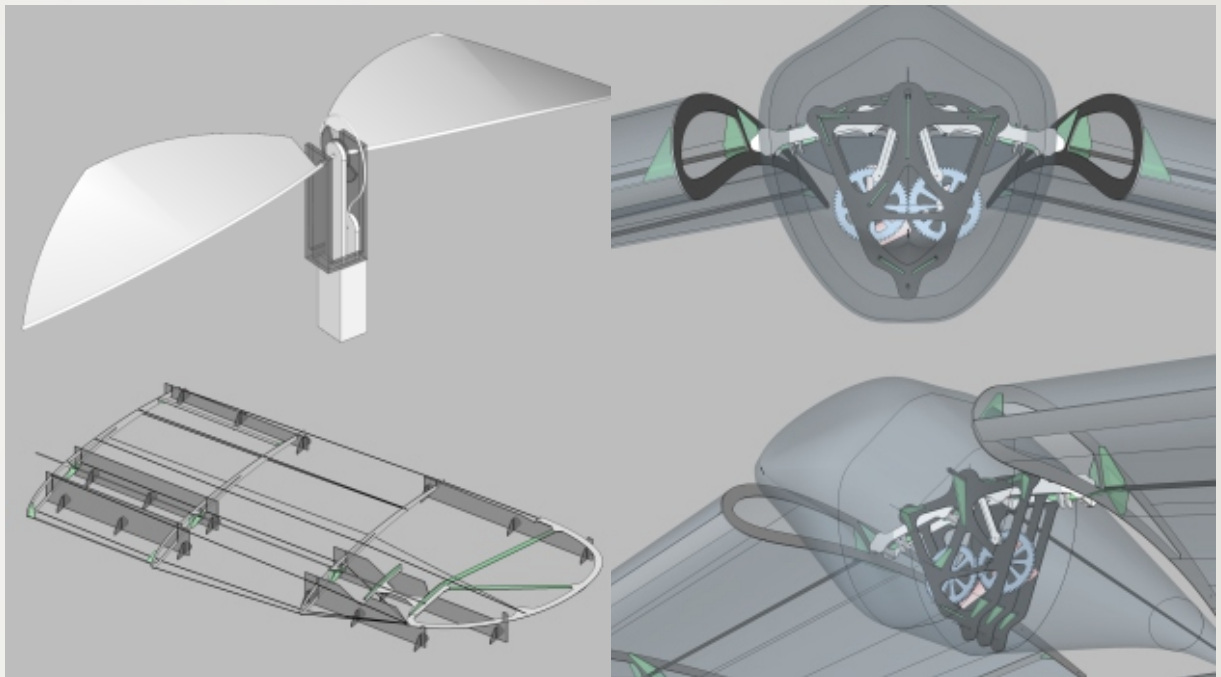
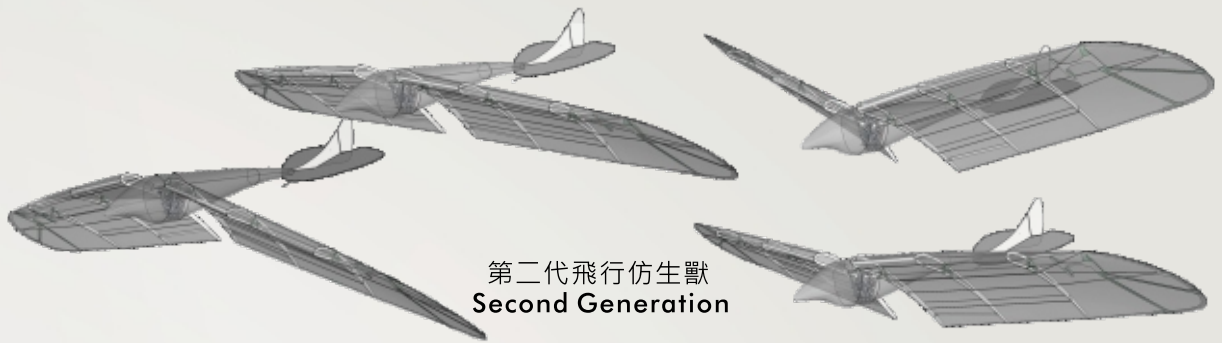
材料分析：對於飛行器而言，輕量化的機身結構是很重要的考量課題，對此經過材料強度、韌性、經濟性、可得性做了比較後，選定以碳纖維管搭配玻璃纖維板為本次飛行仿生獸的主要用材，拋棄了以往以壓克力為主的設計思維。玻璃纖維板在切割加工上需要較高硬度的特殊CNC鎢鋼鑽頭，如使用一般木工或金屬CNC鑽頭切割玻璃纖維板，容易發生斷棒，且切口易起毛邊。最終找到了PC產業製做主機板的玉米芽紋鍍膜鎢鋼鑽頭可以滿足玻璃纖維板切割需要。活動關節則是使用了萬向球頭連桿來做傳動，球頭可360度的自由活動，以最簡化的機構克服了動力面的力學問題。

翅膀的薄膜最初是選用了PVC塑膠膜，但事後發現PVC材質特性上受壓會變形，當翅膀遇到風壓時，塑膠膜的形變會對飛行造成氣流干擾產生阻力，再經一番尋找後，最終取得了輕盈無彈性的OPP透明塑膠包裝紙做為翅膀縮膜的用材。

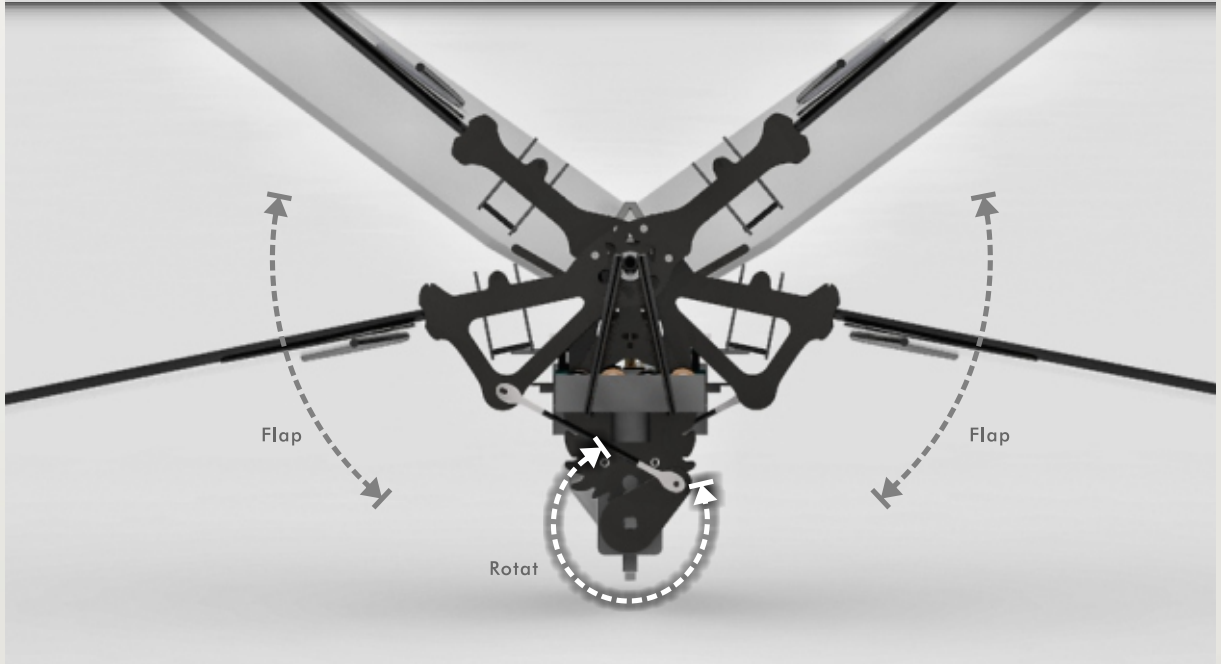


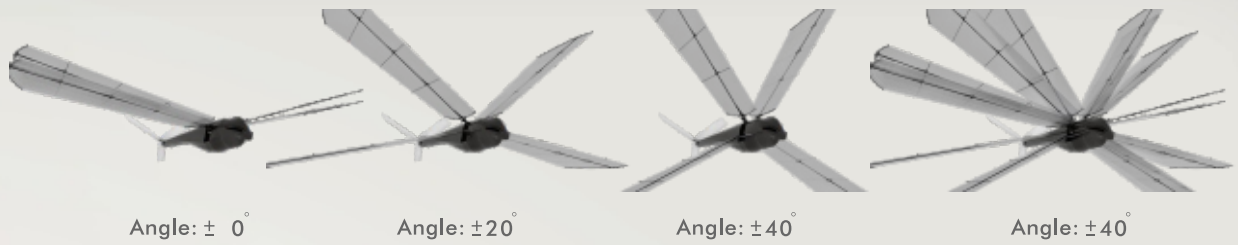
玻纖試做：

由碳纖維與玻璃纖維構成了第二代飛行仿生獸，翅膀設計是採飛機固定翼的設計方式，用水滴狀的玻璃纖維肋板增加結構強度，但是也大幅增加了玻璃纖維板的用量，造成機翼自重過重。

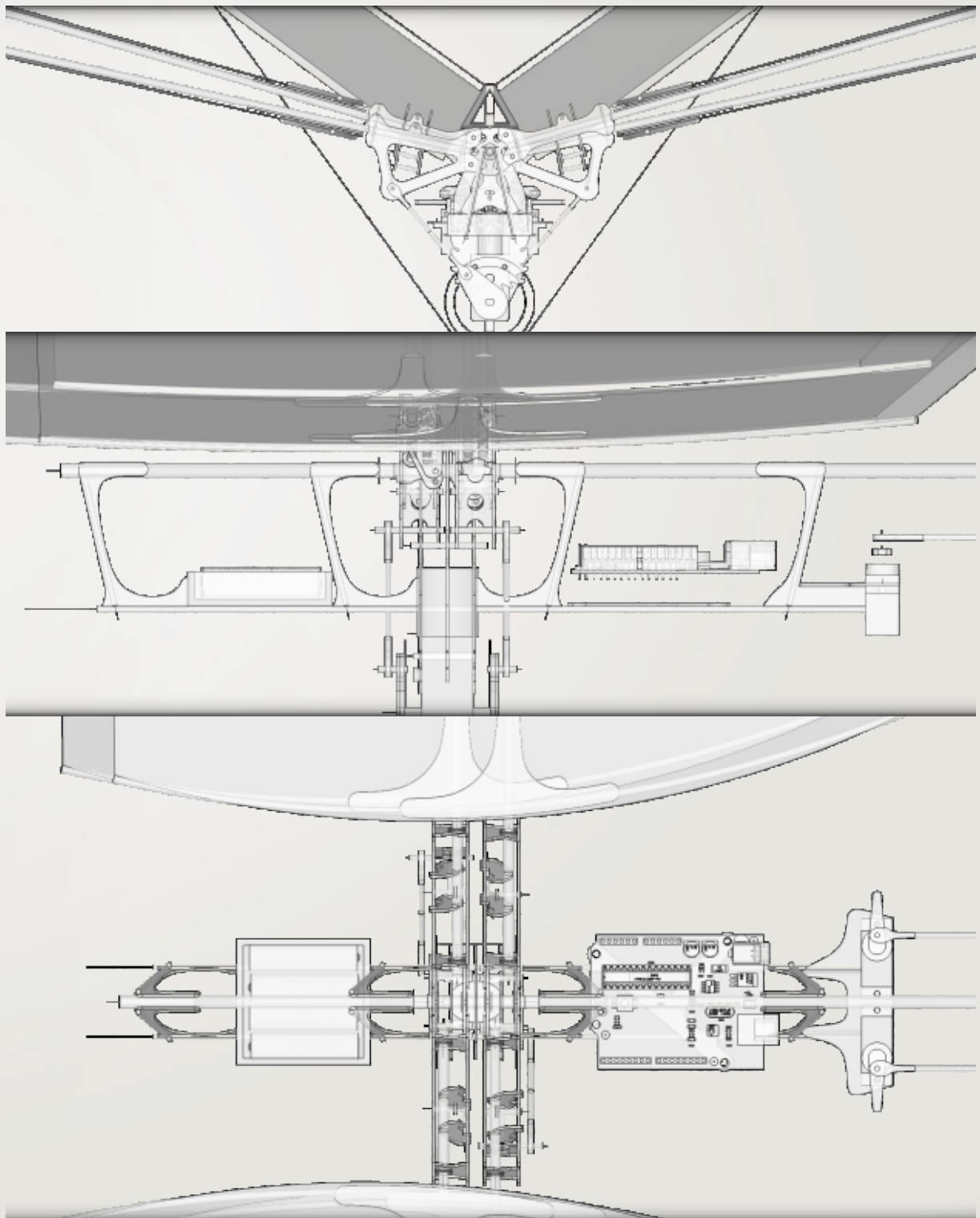


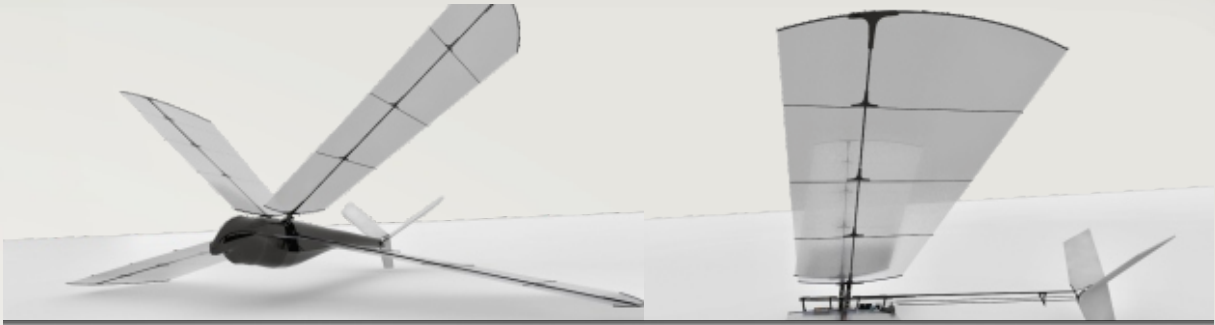
第三代飛行仿生獸
Third Generation



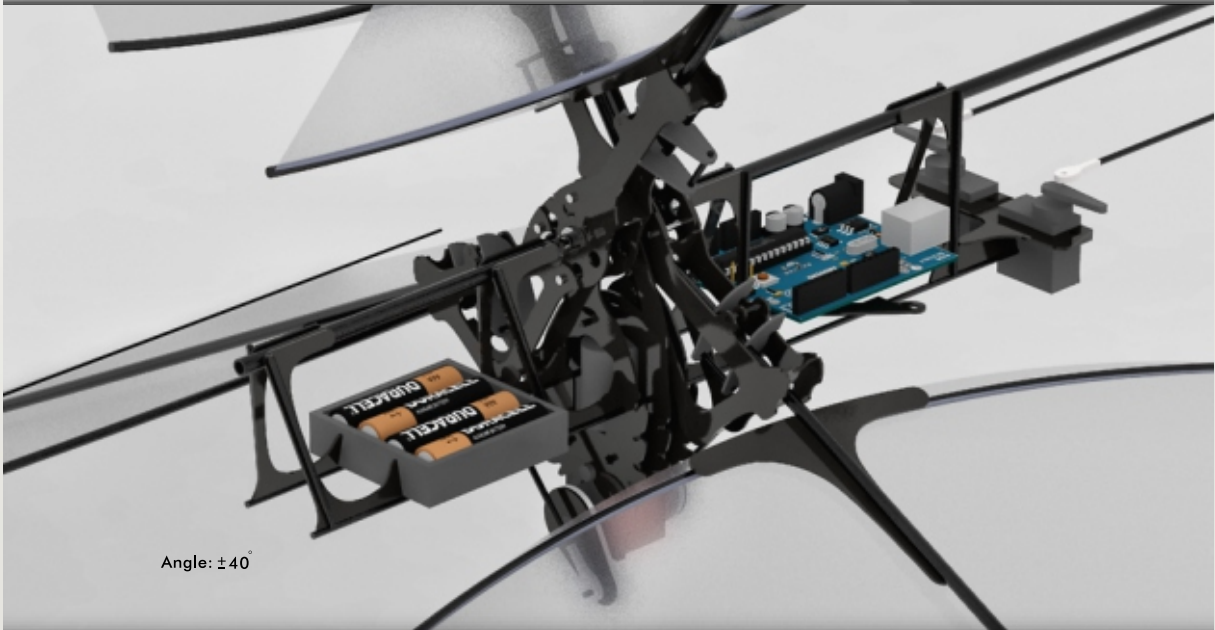
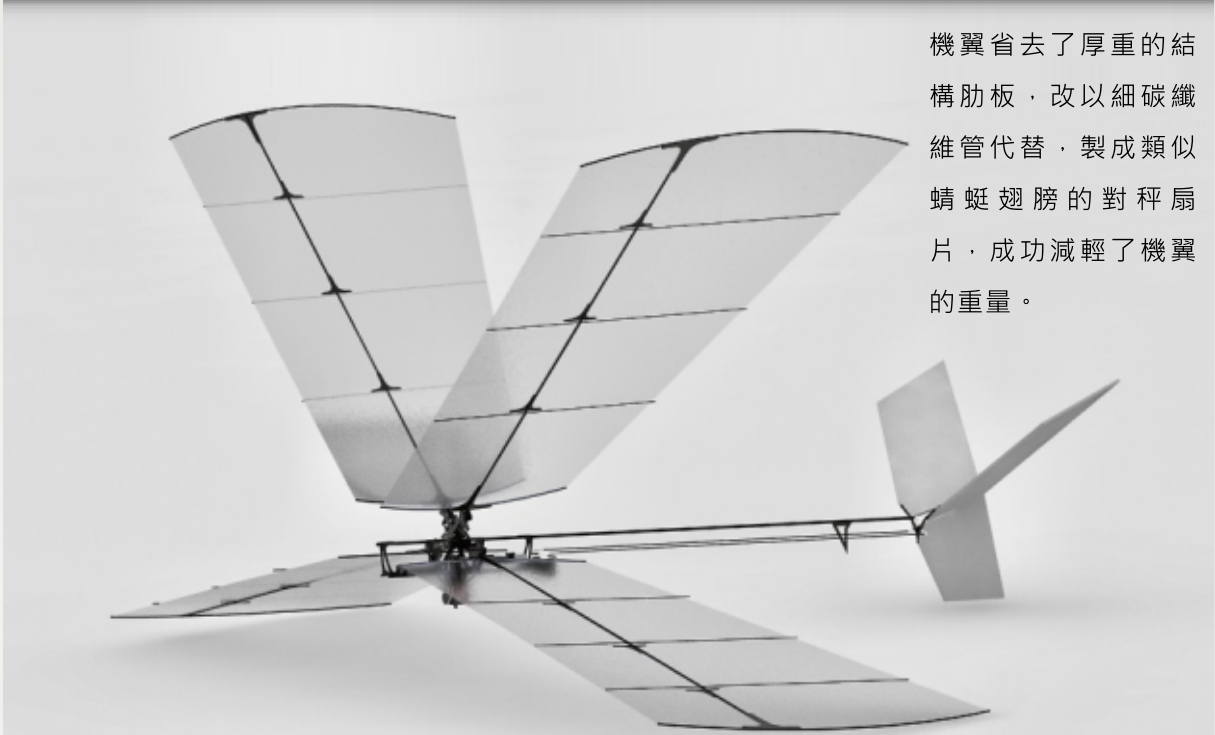


第三代飛行獸大幅減量了玻璃纖維板的使用，進而增加碳纖維管的使用比重。傳動系統也由齒輪組簡化成慢速直流馬達直接帶動翅膀拍打。

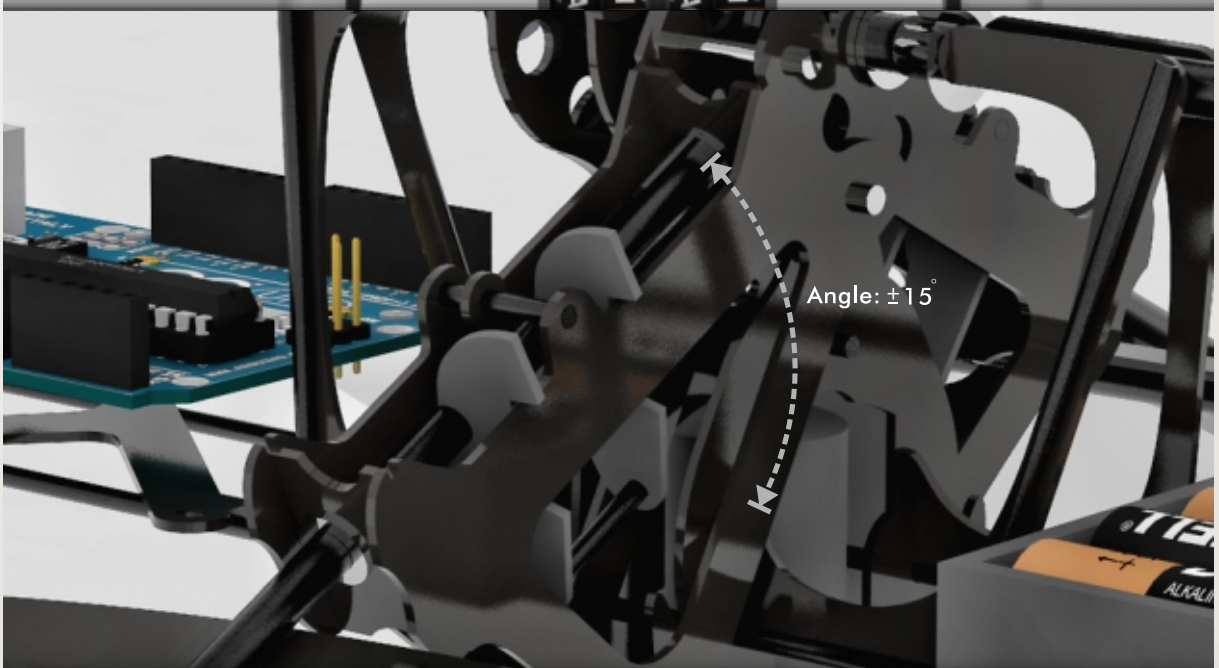
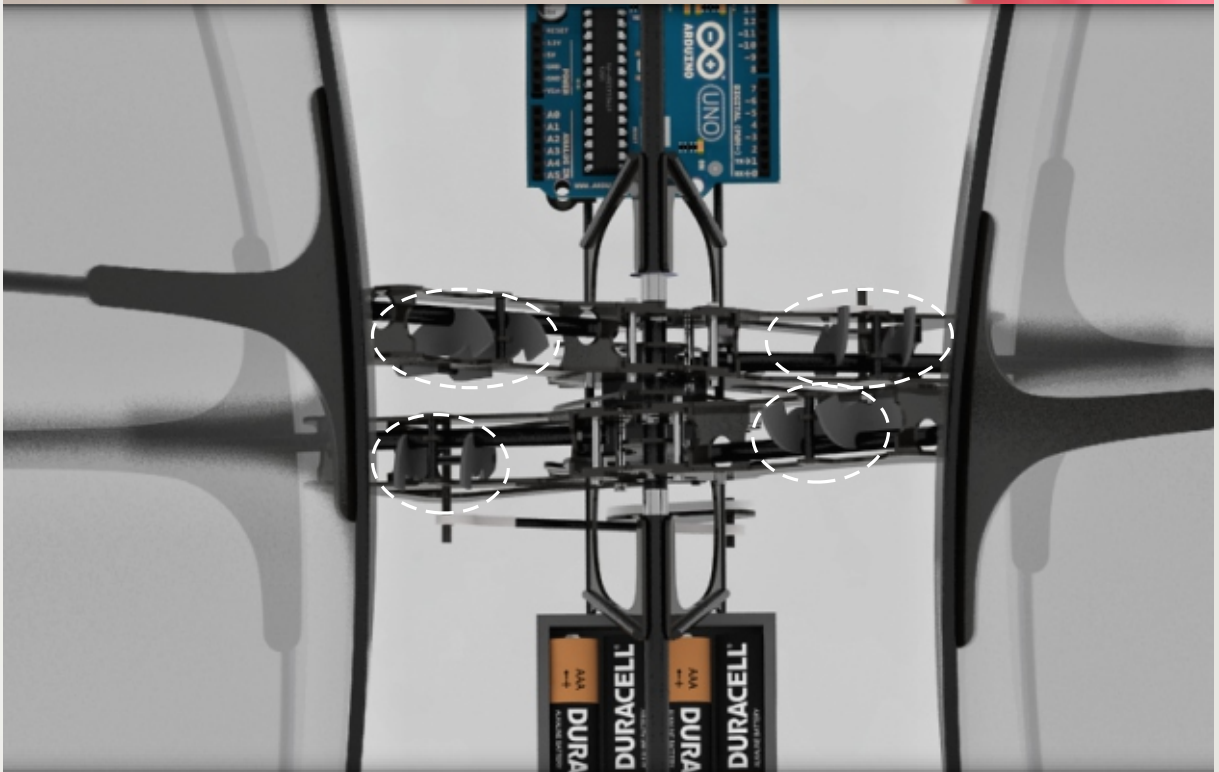
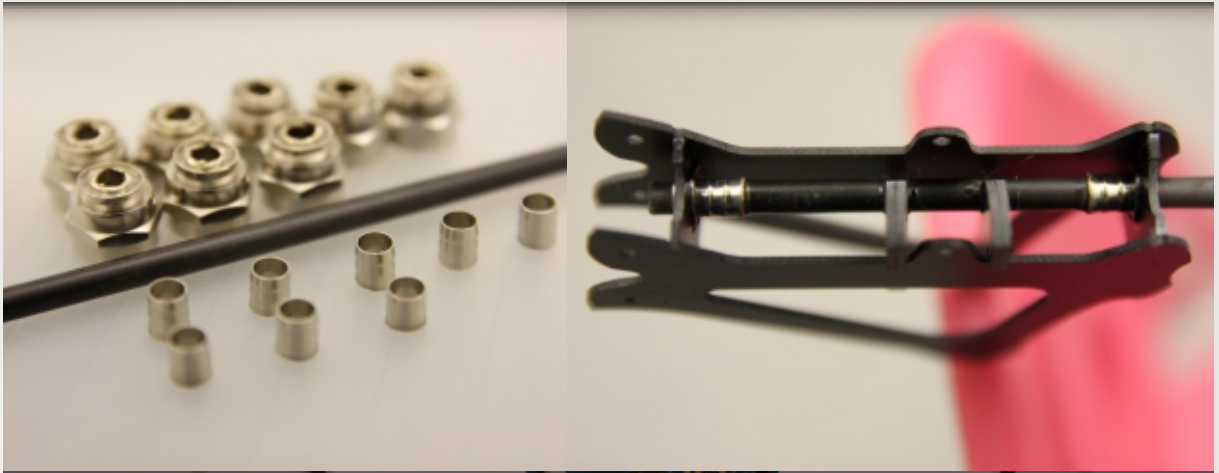




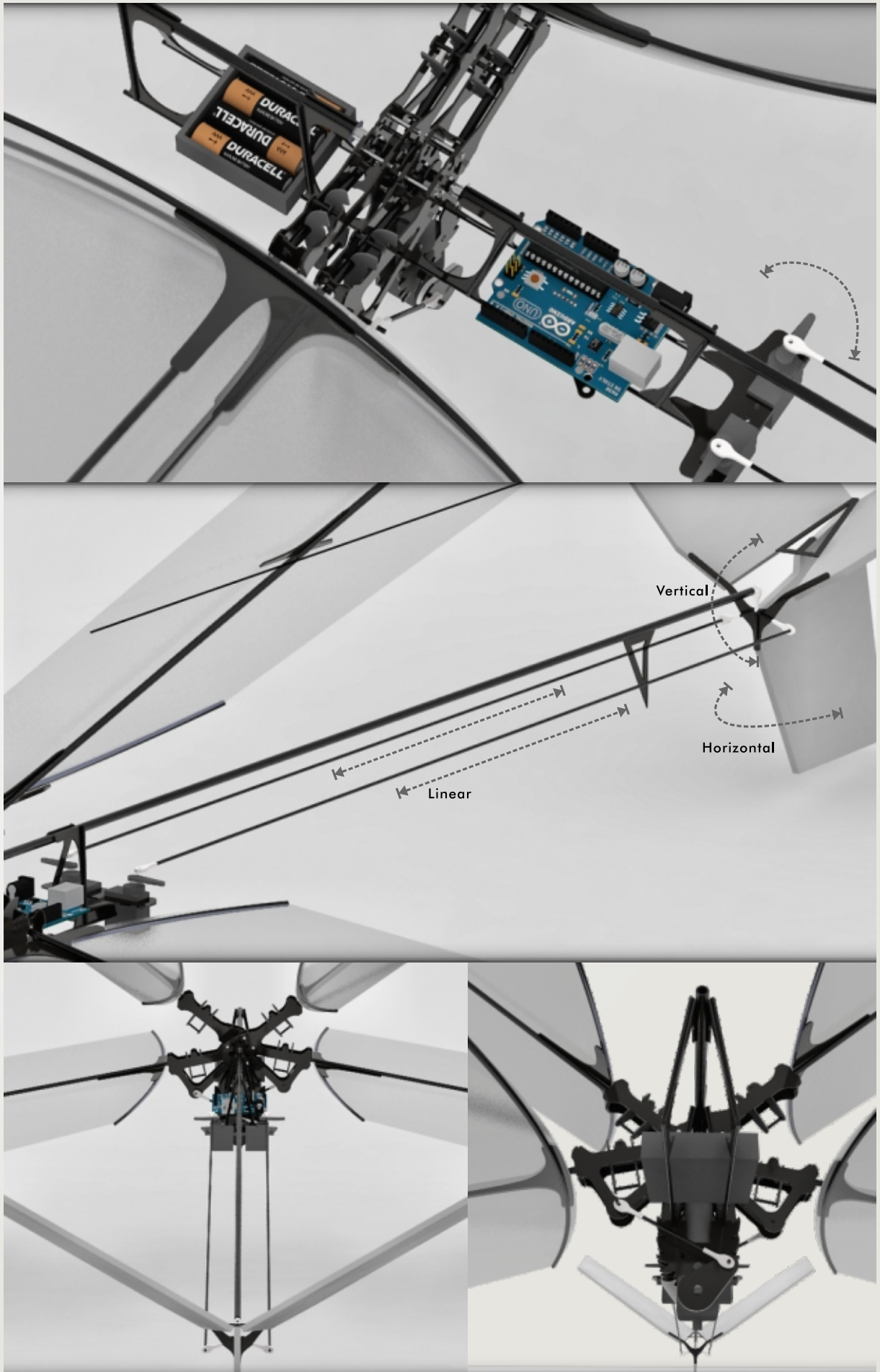
機翼省去了厚重的結構肋板，改以細碳纖維管代替，製成類似蜻蜓翅膀的對稱扇片，成功減輕了機翼的重量。

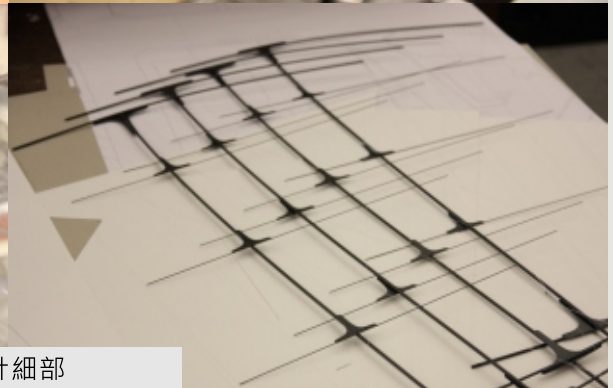


翅膀內側設有自旋裝置，給予仿生獸飛行時提供必要的向前推力與向上升力。當翅膀向下拍打時，翅膀會平放15度以提供機體升力，當翅膀向上抬起時翅膀又會後傾15度以提供向前的推力。

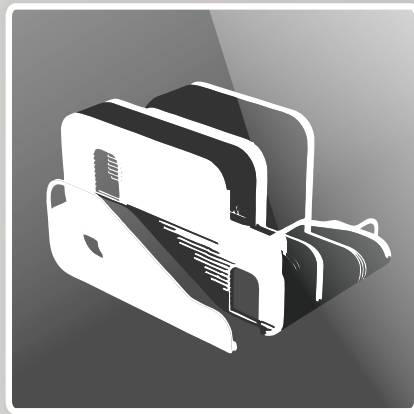


飛行尾翼採三角設計，關節點以萬向球頭固定，透過Arduino控制兩具伺服馬達，連接兩支尾桿做線性位移動作，進而改變尾翼仰頃與左右擺動。





設計細部



04.Monster Pavilion

Gaga's Exhibition Pavilion / Digital Fabrication

Individual work

Jan 11, 2011

Advisor: June-Hao Hou

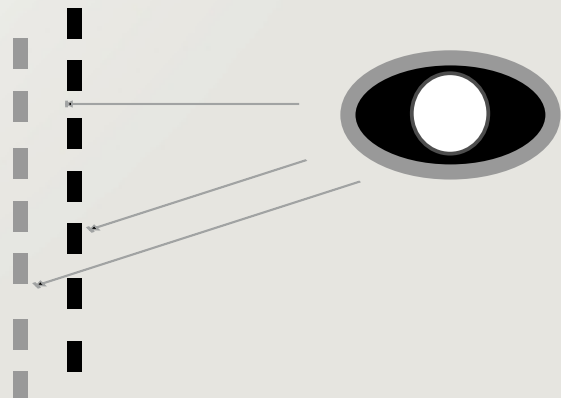
Exhibited in NCTU Arts Center, Mar 03 - Mar 22, 2011



Monster Pavilion / 動態視覺展示空間

設計構想：

人們若違反了既定的主流價值觀，使得自己顯得與眾不同，而被毫不留情的否定、排擠、歧視甚至迫害。Lady Gaga 致力爭取非主流文化者應有的尊嚴，捍衛做自己的自由。本次設計挑戰一情境體驗空間，以連續剖面堆疊成的裝置性建築，做為另類者的精神地標。藉由剖斷面組成的格柵(花窗)，置入特定的資訊(LADY GAGA)於複雜的構件或形體之中，靜止的建築立面透過線條、形狀等元素的應用，藉由動態視線路徑的流轉，誘導連續性的圖形隱現，達成空間動感效果與動態的使用體驗。設計在電腦軟體的輔助下完成模型樣貌的實體運算，並自動產生所需的單元與零組件。



Methodology

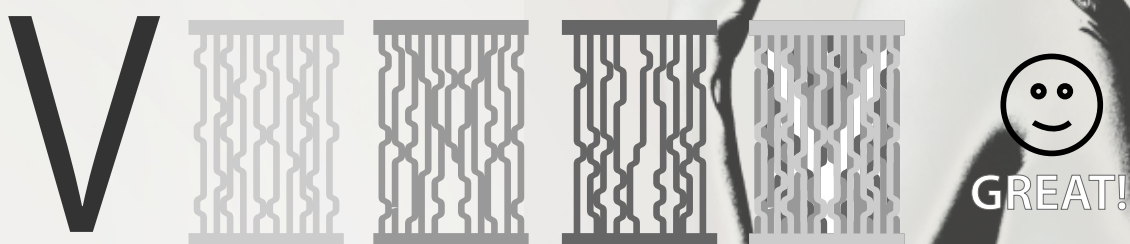
設計研究：

格柵系統研究：兩條格線之間運用恒定的角度和頻率相互干涉，使人眼無法分辨原本的格柵，從不同的特定角度能看到隱藏於其中的干涉的花紋，表現層次多變的動態視覺效果。

Horizontal type



Vertical cross type

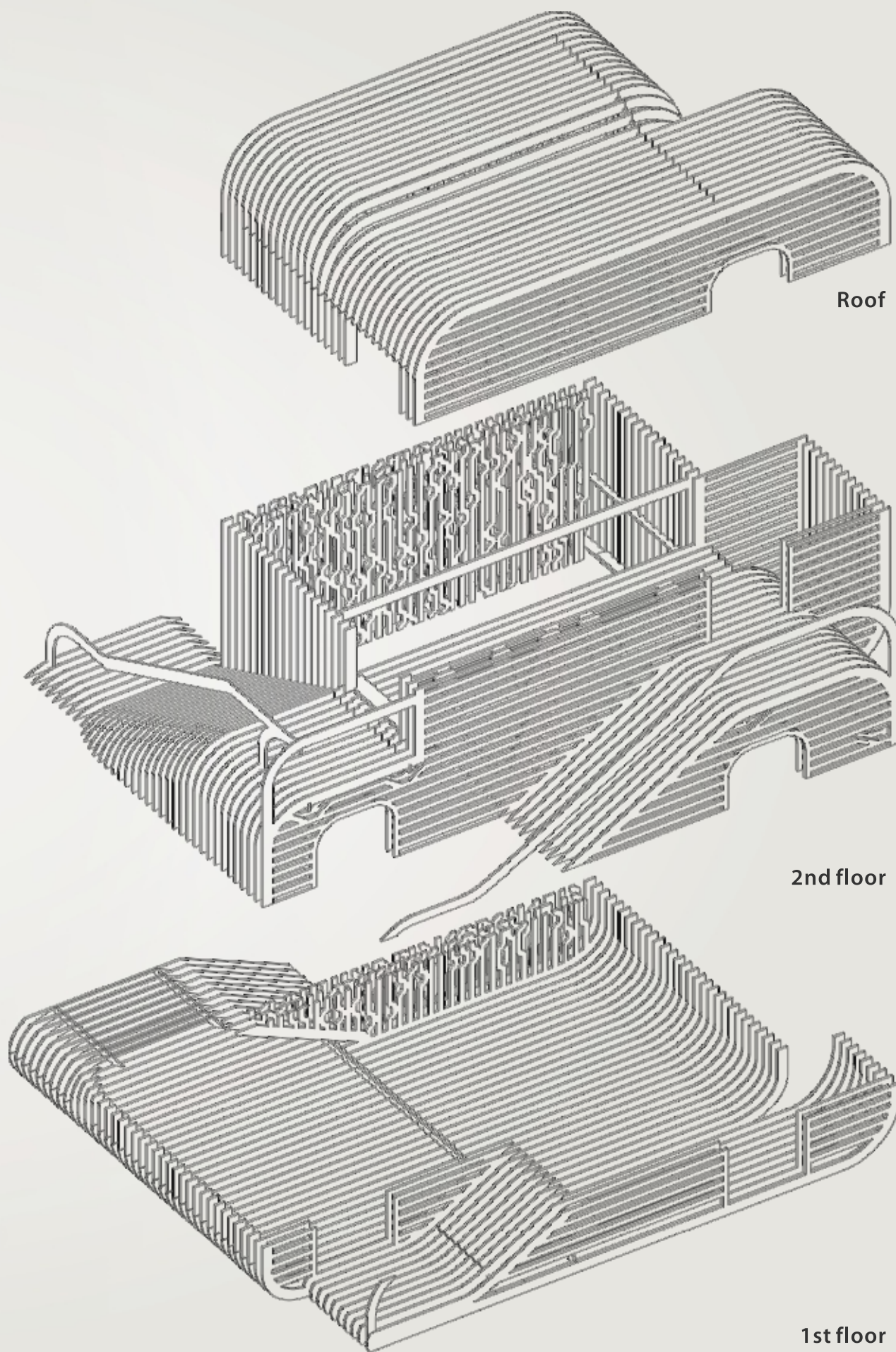


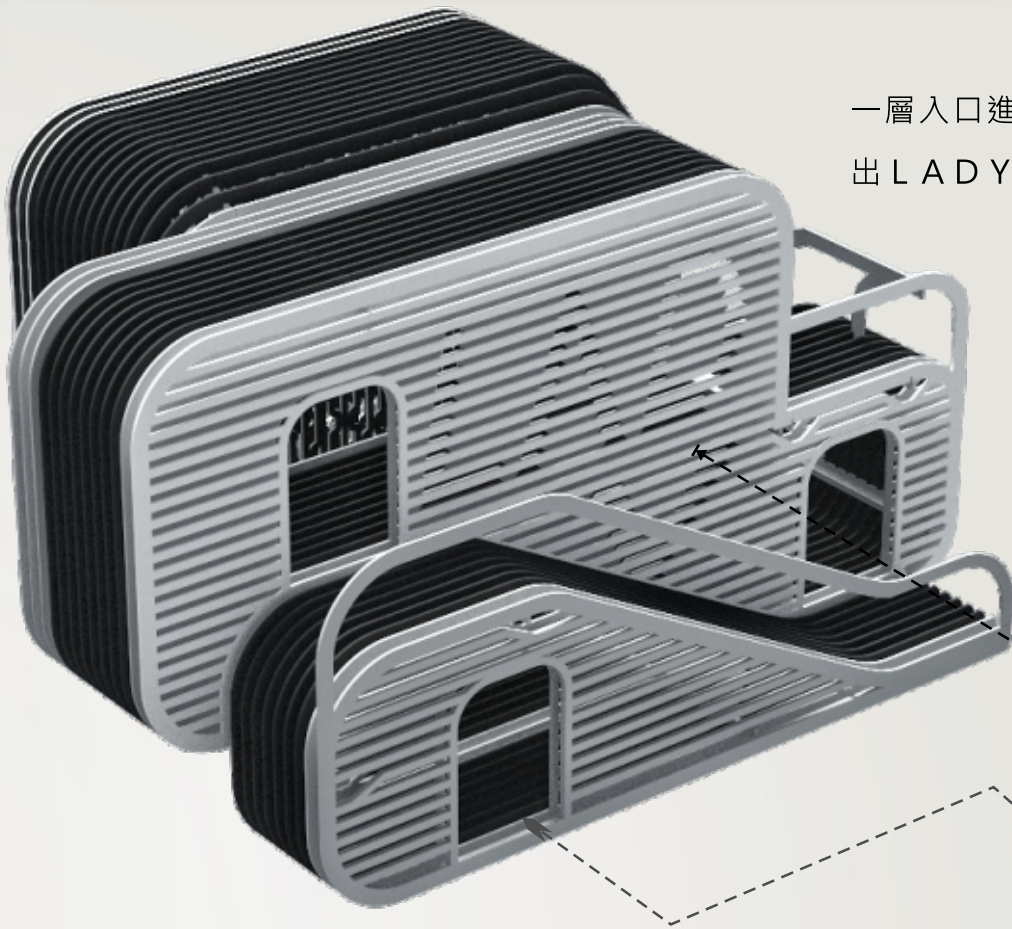
干涉格柵圖形最初試採水平條紋構成，以雙層格線重疊而成，此種方式較難隱藏圖形，格線紋路變化空間較少。另外試出一種垂直型態的多重格柵系統，有較好的圖形隱藏效果。

Original
GA
GA

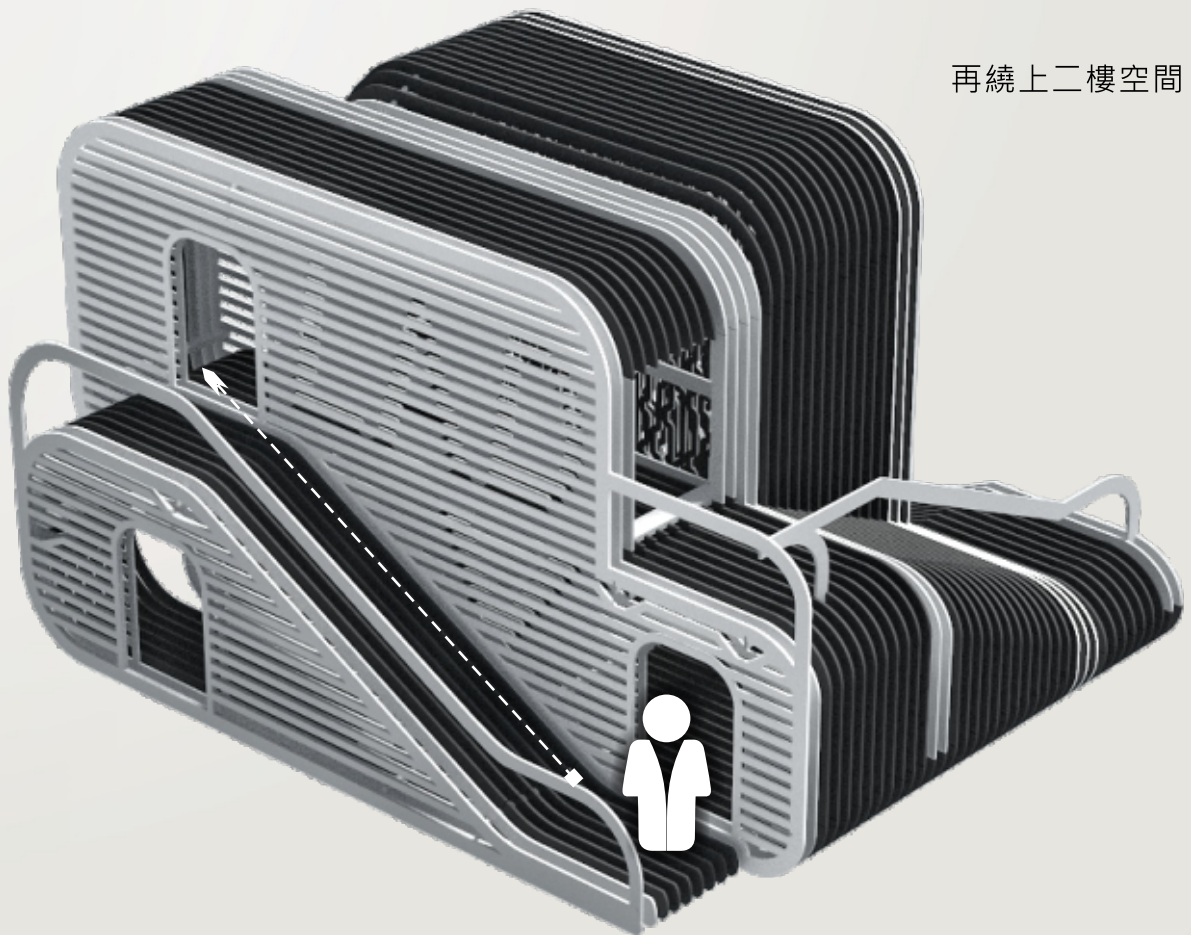


樓層展開圖

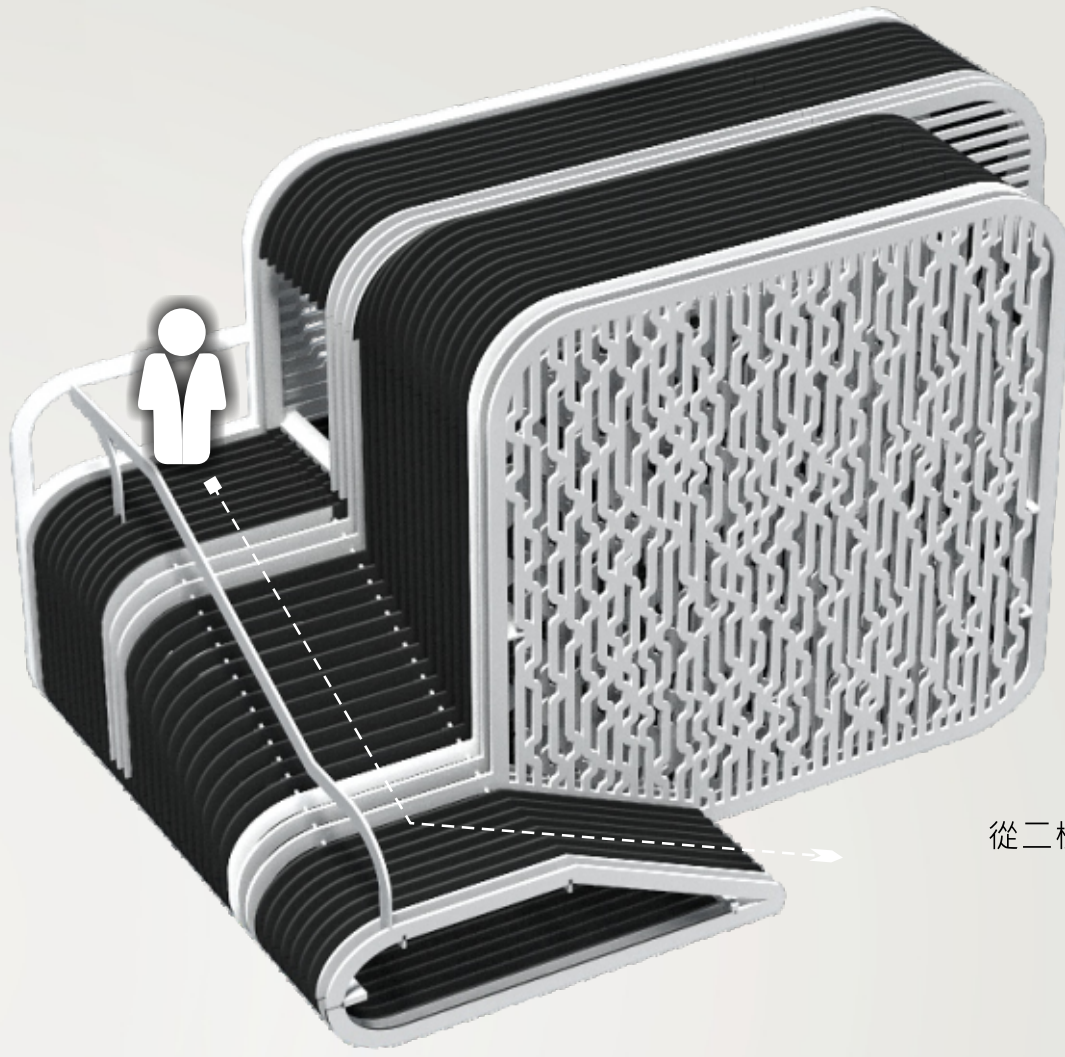




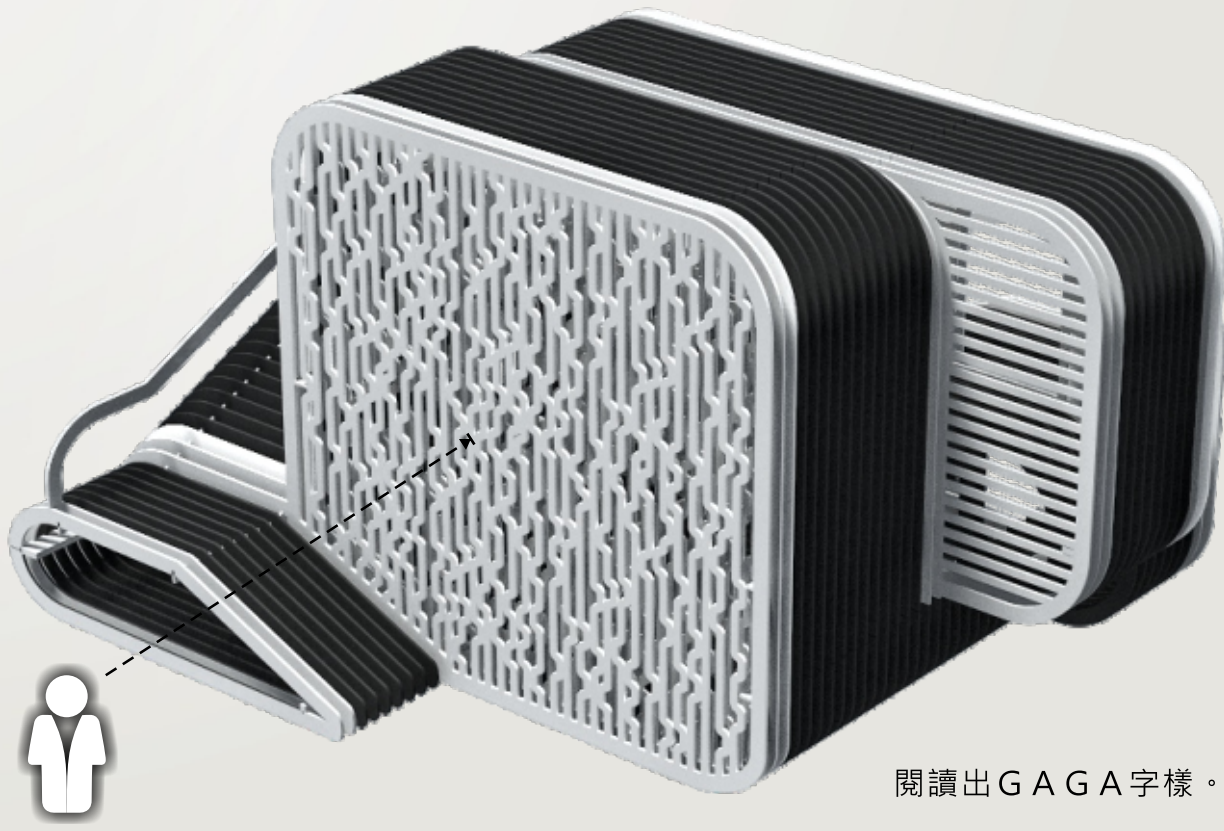
一層入口進入，閱讀
出LADY字樣。



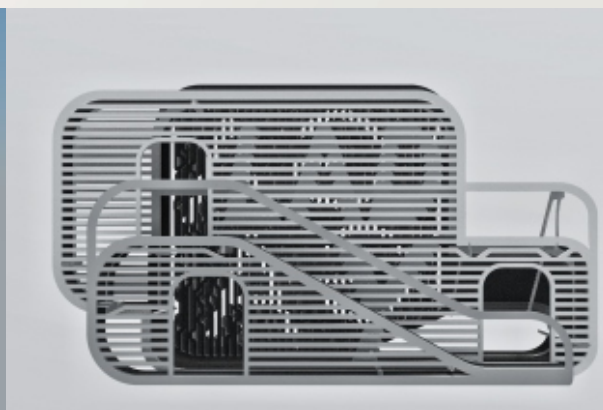
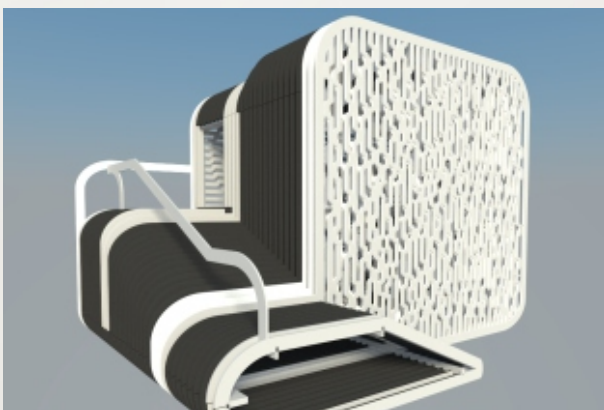
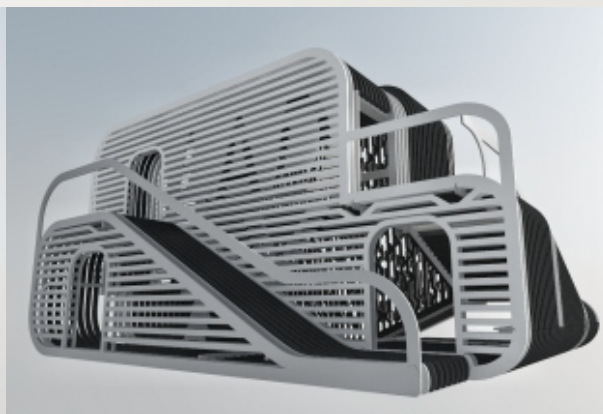
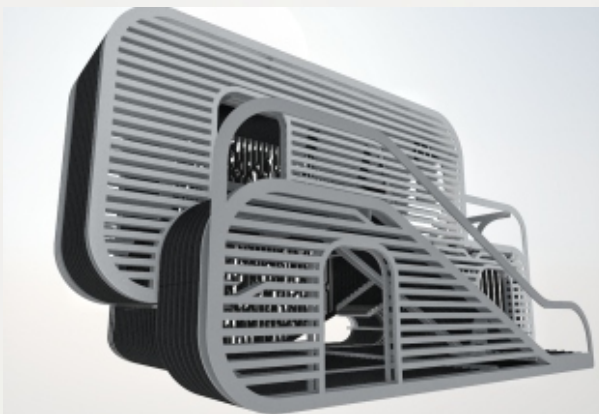
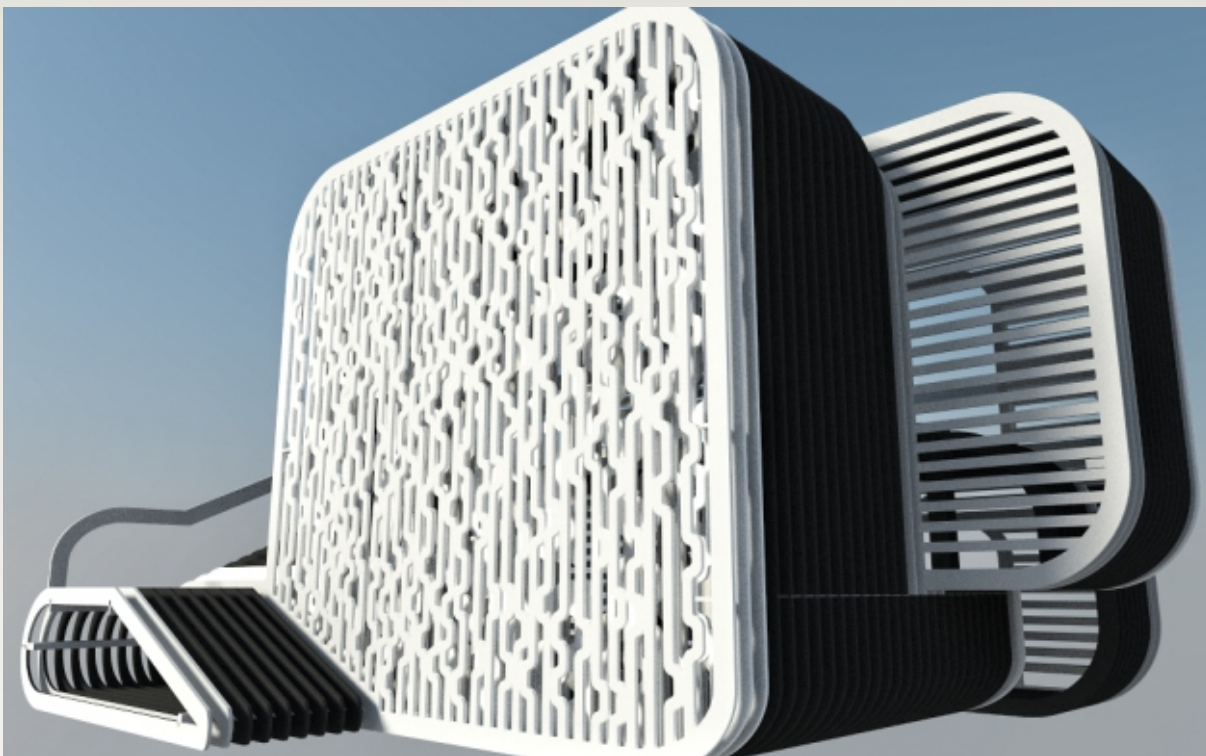
再繞上二樓空間



從二樓出口下樓



閱讀出GAGA字樣。



最後模型製是透過雷射切割機直接將紙板加工，以雷射大量又快速的切刻成零組件，再砍接組合。本次設計達成數位構築，從設計到製作，把複雜數位模型直接輸出成實體。



05.Conclusion

結論：

長久以來，我們對「人機互動」充滿好奇，而不斷的進行研究與發展，除了應用層面日漸多元，幫助人們更有效率的使用機械產物。然而目前市面上所指的人機介面則多界狹義的只在軟體人性化的操作介面上，那麼在完成使用者端的優化後，要怎麼使機械裝置系統端的設計生產跟上智慧化的腳步便是個重要的問題。而且在互動的前提下這些機構須滿足動態運作的能力，其中包含了大量複雜的電子電機與物理知識，在面對這種如同汪洋一般的專業知識下，針對「動態機構」數位輔助設計與機具輔助製造方面為研究目標，可以幫助我把專注力集中。

研究過程分為兩部分，第一部分是3D環境下建構動態機構裝置，無論是互動式變動燈具[作品01,02]或是飛行仿生獸[作品03]、借光學原理的視覺動態牆面[作品04]，軟體輔助設計的助益與缺陷可以很明確的感受出來，像是燈具光線的發散路徑透過電腦3D模擬，可預先得知實體燈具的光線最終的投射效果，讓燈具在設計階段最佳化燈罩葉片角度、或是仿生獸運動機構的連續擺動空間在3D檢視下，可以避免構件的碰撞而做修改、乃至於視覺動態牆面的窗櫺，經由電腦3D的透視模擬而微調格柵間距，以達到最佳化是學校果。

另一部分是數值機具的應用與模型實作，對於不同材料的加工方式須逐一的從頭學習，從燈具的壓克力強度試驗到後續的雷射切割參數設定、飛行仿生獸玻璃纖維與碳纖維的切割加工與接著工法，歷經反覆測試，找出各自的解決方針。

歷經這多次機構實做的洗禮，進一步釐清組件在3D階段軟體並沒有預警系統，可以提示用戶組裝時的可行性或、先後順序或是難易程度，或許目前還沒有相關的演算法支援。製造端在雷射切割與CNC切割，對於相同線圖卻有著非常不同的使用方法，或許未來可以開發整合兩著的單一機具，簡單的說就是具有雷射切雕功能的CNC鑽床，可以一次性輸出，或許是未來在機構設計效率提升上的解決之道。

